

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
UNIVERSITE MOHAMED KHIDER – BISKRA
Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur

Département d'Hydraulique

N° d'ordre :.....
Série :.....

THESE

**Présentée pour l'obtention du diplôme de doctorat en sciences
En Hydraulique**

ETUDE DE LA FIABILITE DES SYSTEMES DE DISTRIBUTION D'EAU POTABLE EN ZONES ARIDES CAS DE LA REGION DE BISKRA

PAR

Rachid MASMOUDI

Soutenue le : 15 Juin 2009

Devant le jury :

Président :	SAKER M. Larbi	Professeur	U. de Biskra
Examineur :	REMINI Boualem	Professeur	U. de Blida
Examineur :	DEBABECHE Mahmoud	Professeur	U. de Biskra
Examineur :	DJEMILI Lakhdar	Maître de conférences	U. de Annaba
Examineur :	OUAMANE Ahmed	Maître de conférences	U. de Biskra
Rapporteur :	KETTAB Ahmed	Professeur	ENP – Alger

Résumé

La maîtrise de la gestion de l'eau a toujours été considérée en Algérie comme un objectif prioritaire du développement du pays. La réduction des pertes d'eau dans les réseaux de distribution peut contribuer à la préservation d'une ressource rare. Le faible nombre de compteurs et la distribution intermittente rendent difficile la quantification des fuites. Cette recherche présente d'une part, une analyse de la demande dans la région de Biskra dans le sud algérien fondée sur une extrapolation à partir d'un panel d'abonnés pour lesquels les données de prélèvement sont disponibles. La comparaison par rapport aux volumes produits et les mesures de débit de nuit permettent d'apprécier les pertes d'eau dans le système de distribution. D'autre part, une démarche d'évaluation et d'analyse de la fiabilité des systèmes de distribution basée sur la connaissance des paramètres et indicateurs techniques de performance. Nous tenterons ainsi de formuler les recommandations nécessaires pour aboutir à une meilleure connaissance du fonctionnement des systèmes de distribution d'eau en Algérie.

ملخص:

يعتبر التحكم في تسيير المياه من الأهداف ذات الأولوية في التنمية الوطنية. يساهم التخفيض من نسبة فقدان المياه في شبكات التوزيع في المحافظة على مصادر المياه النادرة أصلا في مناطق الجنوب الجزائري. إن العدد القليل لعدادات الماء المتوفرة إضافة للإنقطاعات المتكررة لتوزيع مياه الشرب جعلت من تحديد الأحجام الضائعة من المياه عملية معقدة. تقدم هذه الأطروحة من جهة، تحليلا للطلب على مياه الشرب في منطقة بسكرة بالجنوب الجزائري اعتمادا على تعميم النتائج المحصلة من القياسات المطبقة على عينة من المشتركين في شبكة الماء الصالح للشرب وتأكيدها بقياسات ليلية للطلب على الماء و من جهة ثانية، مكنت الدراسة من تقديم طريقة لتقييم و تحليل أداء نظم التوزيع اعتمادا على معرفة المؤشرات التقنية. وتقدم الدراسة الاقتراحات الضرورية للوصول إلى تحكم أفضل لتسيير نظم توزيع المياه الصالحة للشرب في الجزائر.

Abstract

The rationalization of the management of the water was always considered in Algeria as a priority objective of the development of the country. The decrease in water losses on the supply networks can help preserve such a rare resource. The low number of water meters and the intermittent supply make it difficult to quantify the leaking water. This search presents an analysis of the demand for drinking water based on an extrapolation from a sample of consumers on whom data are available. Comparison of the volumes of water produced and measurements of night flows permits a determination of the losses in the water supply system. On the other hand, a method of evaluation and analysis of the reliability of the systems of distribution based on the knowledge of parameters and technical indicators of performance. We will try then to make the necessary recommendations in order to better understand the functioning of the water supply systems in Algeria.

SOMMAIRE

Introduction Générale	5
I. Rappel historique sur l'évolution de la distribution d'eau potable	9
I.1. Introduction.....	9
I.2. Nécessité économique et sanitaire de l'alimentation en eau potable.....	9
I.3. Réseaux techniques et transport d'eau.....	9
I.4. L'accès à l'eau potable.....	10
I.5. L'usager et la ressource en eau.....	11
I.6. Images culturelles de l'abondance de l'eau.....	12
I.7. Réseaux de distribution, impact et conséquences	12
I.8. Conclusion.....	13
II. Ressources hydriques en Algérie	14
II.1. Introduction.....	14
II.2. Ressources hydriques en Algérie.....	15
II.2.1. Ressources en eaux souterraines.....	16
II.2.2. Ressources en eau de surface.....	18
II.3. Prélèvements des ressources en eau.....	19
II.4. Conclusion.....	21
III. Données générale sur la région de Biskra	22
III.1. Introduction.....	22
III.2. Situation géographique.....	22
III.3. Géologie et topographie de la région de Biskra.....	22
III.4. Climat et pluviométrie.....	23
III.5. Etat actuel du système d'alimentation en eau potable de la région de Biskra.....	23
III.5.1. Ressources en eau potable.....	25
III.5.2. Adduction d'eau potable.....	26
III.5.3. Réseau de distribution.....	27
a) Configuration générale du réseau de distribution.....	28
b) Réservoirs de stockage.....	28
III.6. Conclusion.....	29
IV. Analyse de la distribution d'eau potable dans la région de Biskra	30
IV.1. Introduction.....	30
IV.2. Usagers d'eau potable.....	31
IV.2.1 Usagers domestiques.....	31
IV.2.2 Usagers commerciaux et publics.....	35
IV.2.3 Usagers industriels.....	38
IV.3. Consommations en eau potable.....	39
IV.3.1 Analyse des consommations facturées.....	39
IV.3.1.1 Consommation domestique.....	39
A) Prélèvements annuels globaux.....	40
B) Prélèvements individuels moyens.....	42
C) Variations saisonnières des prélèvements.....	44
IV.3.1.2 Consommations des commerces et des établissements publics.....	48
IV.3.1.3 Consommation industrielle.....	51
IV.3.1.4 Bilan des consommations facturées en eau potable.....	52
a) Consommations totales facturées.....	52
b) Extrapolation de la consommation avec compteurs.....	53

IV.3.2. Analyse des consommations mesurées : approche par panel.....	55
IV.3.2.1. Consommations domestiques journalières.....	55
IV.3.2.2. Variations journalières de la consommation domestique.....	60
IV.3.2.3. Consommations horaires.....	62
IV.3.2.4. Extrapolation des mesures.....	66
IV.3.3. Bilan des différentes approches de quantification.....	67
IV.4. Ressources d'eau potable à Biskra.....	68
IV.4.1. Productions brutes par habitant.....	69
IV.4.2. Etat Comparatif: Productions – prélèvements en eau.....	70
IV.5. Evaluation des pertes d'eau.....	78
IV.5.1 Par bilan : Production – Consommation.....	79
IV.5.2. Par des mesures de débits nocturnes.....	84
IV.6. Effet de l'utilisation des pompes domestiques sur les pertes d'eau	87
IV.7. Interprétation de l'importance des taux de pertes.....	88
IV.8. Ratios de fonctionnement et de performance des systèmes de distribution.....	89
IV.8.1. Rendement technique primaire.....	89
IV.8.2. Indices linéaires de pertes.....	92
IV.8.3. Indice linéaire de fuites.....	93
IV.8.4. Indice linéaire de consommation.....	93
IV.9. Conclusion.....	96
V. Schéma d'analyse d'un système d'alimentation en eau potable	98
V.1. Introduction.....	98
V.2. Présentation des critères de performance des réseaux de distribution....	99
V.2.1. Système d'eau potable et performance des réseaux.....	99
V.2.2. Quelques indicateurs de performance.....	99
V.3. Diagnostic technique d'un système d'eau potable.....	104
V.3.1. Principes fondamentaux d'un diagnostic technique.....	104
V.3.1.1. Présentation des fonctions générales.....	105
V.3.1.2. Utilités des indicateurs techniques.....	107
V.3.2. Approches d'analyse.....	107
V.3.3 Filière de la ressource en eau.....	108
V.3.3.1 Analyse quantitative et qualitative de l'état de la ressource d'eau.....	109
V.3.3.2 Etat et fonctionnement des équipements.....	110
V.3.3.3 Sécurité des installations.....	119
V.3.3.4 Vulnérabilité de la ressource.....	129
V.3.3.5 Sécurité de l'approvisionnement en eau.....	136
V.3.3.6 Redondance des installations de pompage et de gestion.....	138
V.3.3.7 Dispositifs anti-intrusions.....	138
V.3.3.8 Plans de secours.....	138
V.3.3.9 Vétusté et qualité d'entretien des équipements.....	139
V.3.4. Filière de distribution d'eau potable.....	139
V.3.4.1. Etat général du réseau de distribution.....	141
V.3.4.2. Ouvrages et équipements de distribution.....	153
V.3.4.3. Vulnérabilité de la distribution.....	156

V.3.4.4. Sécurité de l'alimentation en eau potable vis-à-vis des usagers.....	161
V.3.4.5. Sécurité des dispositifs de lutte contre les incendies.....	162
V.4. Exemples de schémas partiels d'analyse des systèmes d'alimentation en eau potable dans la région de Biskra.....	162
V.4.1. Schéma d'analyse du système d'eau potable de la ville de Sidi-Okba (agglomération de petite taille).....	162
V.4.2. Schéma d'analyse du système d'eau potable de la ville de Tolga (agglomération de taille moyenne).....	163
V.4.3. Schéma d'analyse du système d'eau potable de la ville de Biskra (agglomération de taille importante).....	165
V.5. Conclusion.....	168
Conclusion Générale	170

Introduction générale

Le réseau d'alimentation en eau potable constitue un patrimoine sur lequel les gestionnaires doivent agir pour adapter le service proposé aux attentes des abonnés, de plus en plus inquiets et exigeants, et aux contraintes réglementaires, de plus en plus fortes.

Mettre à niveau le fonctionnement de l'infrastructure demande d'intervenir sur ses composants. Les conduites de distribution d'eau, qui représentent en général 60 à 80 % de la valeur des réseaux se trouvent donc au centre d'une problématique de gestion technique dont les enjeux stratégiques, financiers et fonctionnels sont très importants.

La généralisation de la distribution d'eau potable en réseau est récente et au fur et à mesure du raccordement de la population, des questions se posent quant à la caractérisation du niveau de service rendu à l'utilisateur. Aujourd'hui, la plupart des Algériens ont de l'eau au robinet, mais la maîtrise, que l'on voudrait totale, de l'eau distribuée devient une préoccupation majeure.

Pour en arriver à ce stade, tous les pays, en fonction de leur degré de développement socioéconomique et culturel, franchissent ou ont franchi deux autres stades dans la satisfaction des besoins en eau :

Un stade de la quantité qui correspond à la satisfaction des besoins biophysiques élémentaires, et que se mesure principalement par le taux de couverture de la population.

Un stade de la qualité couvrant la satisfaction des besoins culturels et esthétiques qui complète l'étape précédente. Les usagers sont devenus des consommateurs et des clients qu'il devient nécessaire de satisfaire individuellement.

La plupart des villes algériennes connaissent au moins un problème lié à l'eau, soit en distribution (réseaux, réservoir de stockage) soit en approvisionnement (ressources, station de traitement, adduction) ou même en évacuation des eaux usées (système unitaire ou séparatif, réseaux, rejets et station d'épuration..). Les facteurs naturels, démographiques et économiques se combinent pour créer les plus mauvaises conditions d'accès à l'eau potable.

Dans ce contexte et particulièrement dans les régions arides du sud, maîtriser la gestion des ressources hydriques et minimiser les pertes d'eau sont autant d'enjeux stratégiques et opérationnels pour la société et l'économie.

L'objectif de la recherche présentée dans ce travail est, dans un premier temps, de mener une analyse de la demande dans la région de Biskra dans le sud algérien fondée sur une extrapolation à partir d'un panel d'abonnés pour lesquels les données de prélèvements d'eau sont collectées à travers des campagnes de mesures.

La comparaison des consommations par rapport aux volumes mis en distribution permet d'apprécier les pertes d'eau dans le système d'eau potable. Les mesures des débits nocturnes, effectuées dans les différents points d'eau viennent compléter cette analyse. Nous tenterons ainsi de formuler les recommandations nécessaires pour aboutir à une meilleure connaissance du fonctionnement des systèmes de distribution d'eau en Algérie.

Dans un second temps, une démarche d'évaluation des systèmes d'eau potable est présentée. Cette approche de réflexion sur l'état, le fonctionnement et le comportement du système d'eau potable permet de dégager un bilan sur l'état de santé de ce système et d'évaluer :

- La gestion de la ressource
- La satisfaction des usagers vis-à-vis de leurs besoins et de leurs exigences,
- La sécurité de l'alimentation en eau potable en identifiant les points vulnérables et les risques présents.

Cette démarche rend accessible la connaissance du système d'alimentation en eau potable et permet à l'exploitant de faire le choix quant aux mesures correctives à prendre. Elle permettra d'apprécier la qualité de service et contribuera à l'établissement d'une base de données pertinentes sur le système d'eau et son service.

La présentation de cette étude apparaît sous la forme suivante :

1. Rappels historiques sur l'évolution des systèmes de distribution

Cette partie de la thèse présente l'évolution des moyens d'approvisionnement en eau des habitants et l'utilisation de l'eau potable dans certains pays.

2. Situation hydraulique en Algérie

Consacrée à la présentation de la situation des ressources hydriques Algérie notamment la situation hydrique dans les zones arides et semi-arides, et on termine par exposer la situation générale dans la région de Biskra.

3. Analyse de la distribution d'eau potable dans la région de Biskra

Cette partie représente le volet pratique de ce travail dans laquelle, nous détaillons les contributions pratiques de notre recherche à une meilleure connaissance de l'état et du fonctionnement des systèmes d'eau potable dans la région étudiée. Nous aborderons, tout d'abord, une connaissance des consommations d'eau à travers les données fournies par l'exploitant ainsi qu'au moyen de campagnes de mesures réalisées chez les panels d'abonnés. Nous entreprenons, ensuite, une évaluation des pertes d'eau potable en se basant notamment sur les mesures des consommations et celles des débits de la distribution nocturnes.

4. Démarches d'analyse des systèmes d'alimentation en eau potable

Cette conception se propose une évaluation complète et de gestion technique des systèmes d'eau potable dans les régions où les eaux souterraines représentent la ressource principale pour l'approvisionnement en eau. Bien que les démarches puissent s'appliquer à tous les systèmes, les spécificités de chaque région testée peuvent affecter la conduite de la méthode.

Le travail entrepris dans cette partie de la thèse se propose de développer une méthodologie permettant d'établir un diagnostic technique sur les équipements et le fonctionnement d'un système d'eau potable, ainsi que l'évaluation de la qualité de service donné par le gestionnaire du service d'eau potable. Ce travail s'inscrit également dans une réflexion globale visant à une rentabilisation technique et financière des systèmes d'alimentation en eau potable en Algérie.

I. Rappel historique sur l'évolution de la distribution d'eau potable

I.1. Introduction

Ce chapitre vient décrire à travers une approche historique, la formation du système de distribution d'eau potable dans le monde et présente les conditions techniques, sociales et économiques de cette formation. Il permet d'identifier les étapes principales à travers les quelles s'est développée la conception moderne des réseaux de distribution d'eau potable.

I.2. Nécessité économique et sanitaire de la distribution d'eau potable

La bibliographie sur l'alimentation en eau potable au 19^{ème} siècle révèle deux phases de développement, non pas successives mais superposées : la première est l'époque de "l'eau comme besoin économique" : elle va de la fin du 18^{ème} siècle aux années 1740-1850. La seconde est l'époque de "l'eau comme besoin sanitaire" : elle s'étend des années 1820 jusqu'à la seconde guerre mondiale.

Au 19^{ème} siècle, une époque d'ouverture au développement technologique et économique, une ville, pour devenir un terrain propice à la "révolution industrielle" doit par conséquent se donner les moyens d'assurer l'approvisionnement en eau de nombreux points de consommation notamment constitués par les industries naissantes. Les nouvelles activités économiques réclamaient non seulement de l'eau en grande quantité mais également de l'eau claire et un approvisionnement régulier (Chandeza, 1988).

I.3. Réseaux techniques et transport d'eau

Avant la mise en place d'un nombre assez important de fontaines publiques durant le courant du 18^{ème} siècle, le seul moyen d'obtenir l'eau à domicile était le recours aux porteurs d'eau. La distribution d'eau par porteur, « engageait à l'économie. Même dans les maisons riches, les quantités restaient limitées à la contenance d'un réservoir domestique que le porteur d'eau remplissait chaque matin » (Beyeler, 1991).

Il faut donc bien garder à l'esprit que ce sont autant les contraintes de transport, le faible nombre et le faible volume des ustensiles de transport, le coût élevé du recours au service à domicile et l'impossible évacuation de grandes quantités d'eau qui limitaient la consommation d'eau.

Le raccordement des habitations aux réseaux d'eau potable voit donc la fin d'un grand nombre de contraintes de quantité. La pression dans le réseau d'eau est un premier facteur d'augmentation des volumes d'eau disponibles. Mais c'est surtout le changement des équipements consommateurs d'eau dans les habitations qui marquera le début d'une société aquavore. La consommation de grandes quantités d'eau devient un jeu d'enfant. Enfin, les distributeurs d'eau, qu'ils soient publics ou privés ont tendance à favoriser le développement des abonnements payants pour rentabiliser les investissements réalisés. A cet égard, la philosophie n'était pas tout à fait la même en France et aux USA d'un côté et en Grande Bretagne d'un autre côté. Comme le paiement des abonnements se fait en Angleterre sur la base d'un comptage pour les gros usagers et en fonction de la valeur des propriétés bâties desservies pour les usagers résidentiels, les opérateurs anglais ne tendent pas à encourager les consommations de ces derniers. Mais en France et aux USA, les compteurs ont été généralisés, y compris pour facturer les usagers résidentiels : il est dans ce cas avantageux pour les producteurs de vendre le plus d'eau possible. Il devient alors intéressant pour le prestataire de soutenir les équipements sanitaires et les pratiques d'usage qui accroissent les volumes vendus (Chandeza, 1988).

I.4. L'accès à l'eau potable

L'eau est propriété de tous avant de devenir, avec une extrême lenteur, c'est-à-dire entre 1800 et 1940, un produit industriel commercialisé. Après 1800, l'habitude prévaut de considérer l'eau comme un don du ciel, par essence gratuit, même si les porteurs d'eau continuent à la vendre à l'élite des villes durant le 19^{ème} siècle.

En 1780, l'eau délivrée par porteur coûtait 2 à 3 jours de travail le mètre cube. La livraison d'eau par porteur ne concernait donc que les couches les plus riches de la population. Avant l'installation des réseaux, les personnes les plus démunies ne payaient pas l'eau car elles n'avaient pas les moyens de recourir aux fontaines marchandes et encore moins aux porteurs. De nombreuses villes disposaient de fontaines publiques gratuites et certains puits n'étaient pas non plus payants. Les populations pauvres parcouraient de grandes distances à pieds pour aller puiser de l'eau gratuitement à la rivière ou dans des ressources voisines, dont la qualité, en milieu urbain, était souvent très médiocre (Lorain, 1996).

Après la seconde guerre mondiale, la distribution par le réseau est largement acceptée et développée. La littérature permet de repérer trois fonctions de coûts associées aux

utilisations d'eau : la première correspond aux prélèvements : elle met en œuvre une évaluation de la valeur de l'eau naturelle ; la deuxième concerne la production et le transport de l'eau jusqu'aux lieux d'utilisation (protection des captages et des eaux de rivières, prélèvement, adduction, traitement, distribution) ; la troisième a trait à la collecte et à la dépollution de l'eau usée avant le rejet dans le milieu naturel.

Il est donc certain que le réseau donne accès, pour un coût modique, à une abondance et une continuité de l'approvisionnement en eau à laquelle une personne démunie n'aurait jamais rêvé auparavant.

Cette baisse de coût d'accès à l'eau potable est générale pendant le 19^{ème} siècle. Il est le moyen pour les classes défavorisées de se permettre une consommation d'eau plus importante et surtout plus facile. Le réseau d'eau vient progressivement banaliser l'alimentation en eau potable et la rendre accessible à tous, quasiment sans distinction de classe sociale.

Au début du 20^{ème} siècle les subventions des états ont favorisé l'accès social à l'eau potable en évitant de répercuter intégralement sur les utilisateurs tous les coûts de la production et de la distribution locale d'eau. Mais en contrepartie, le prix payé par les utilisateurs ne reflète pas l'état de rareté des ressources locales.

I.5. L'utilisateur et la ressource en eau

Le réseau d'eau, à mesure qu'il se perfectionne techniquement, permet d'accroître la fiabilité de l'alimentation en eau. La continuité de l'approvisionnement est acquise dans la plus part des grandes villes et dans certaines régions rurales en Europe et aux états unis d'Amérique, au milieu du 20^{ème} siècle. La domestication des ressources par les retenues, les réservoirs et les maillages de canalisations a permis aux usagers de s'affranchir des caprices saisonniers du cycle de l'eau (sécheresse, crues, période de gel).

La continuité d'approvisionnement permise par les services d'eau modernes fait apparaître l'eau comme "illimitée" et donc intrinsèquement abondante.

Les réseaux d'eau potable et d'assainissement matérialisent une distanciation physique entre les usagers et les ressources et favorisent une déresponsabilisation vis-à-vis du ménagement et de la protection des eaux naturelles (Cambon, 1996).

Avant la mise en place des réseaux, l'approvisionnement en eau quotidien crée des formes de socialisation autour des points d'eau.

I.6. Images culturelles de l'abondance de l'eau

L'eau appartient à une catégorie particulière de biens, les biens d'environnement, qui sont à la fois support de vie, support d'activités et matière première. Les pratiques socio-économiques d'utilisation de l'eau sont profondément influencées par l'image sociale de cette ressource. Nous partons de l'hypothèse que la société propage l'idée de l'abondance des ressources en eau à travers les croyances, le droit, le prix de l'eau, et l'évocation physique de l'eau naturelle.

Dans les croyances, l'eau est considérée comme la base de la vie, de l'alimentation et de l'hygiène. Elle est présente dans la plupart des activités humaines et dans les paysages. Elle fait partie intégrante de l'enchaînement des saisons. Son universalité la rapproche de valeurs symboliques divines dans la plupart des cultures.

Le droit de l'eau donne-t-il aux usagers une image d'abondance des ressources. Cette question revient à analyser les modes d'appropriation de l'eau. « L'eau elle-même ne fait pas véritablement l'objet d'un droit de propriété, elle est considérée à l'image de l'air comme une chose commune (Chandeza, 1988). L'utilisation des diverses eaux donne aux propriétaires certains droits exercés sous le contrôle de l'administration. En fait, la non appropriation des eaux est propre à l'eau courante uniquement.

L'eau est alors, propriété de tous avant de devenir, avec une extrême lenteur, un produit industriel commercialisé.

I.7. Réseaux de distribution, impact et conséquences

Le réseau d'eau est un objet technique créé avec l'objectif sanitaire de fournir les quantités nécessaires d'eau en de nombreux points de consommation tout en s'affranchissant des contraintes de localisation des ressources. Au delà de sa fonctionnalité, de sa capacité à canaliser et à organiser des flux et à structurer l'espace, le réseau d'eau est le produit d'une combinaison des rôles d'un système de trois acteurs essentiels, les autorités organisatrices, les entreprises de gestion et les usagers.

L'apparition des réseaux d'eau a entraîné une véritable révolution de l'approvisionnement en eau potable, assortie de quatre impacts sur la perception populaire de la disponibilité des ressources en eau :

- Les citoyens ne sont plus limités par les contraintes quantitatives de l'approvisionnement par les seaux et autres ustensiles de transport.

- Le coût de l'eau distribuée par le réseau est considérablement réduit par rapport à la distribution payante traditionnelle par porteur ou par les fontaines publiques. L'accès à l'eau délivrée à domicile en relativement grande quantité se démocratise (Anderson, 1988).

- Les usagers ne côtoient plus directement la réalité physique des ressources, dans leur diversité, dans leurs caprices saisonniers et dans leur pollution. L'individualisation de l'approvisionnement fait perdre aux usagers le sens de la concertation sociale. De plus, pour les nouveaux abonnés, un certain nombre de signaux associés au cycle de l'eau ne sont plus visibles : la disponibilité physique des ressources est masquée par le confort d'un approvisionnement continu, abondant et de qualité sensiblement constante.

La conception sanitaire à l'origine de la création des réseaux d'eau vient profondément modifier l'alimentation en eau. Au lieu de se concentrer sur la gestion de la pénurie, et d'adapter la demande à une offre limitée (par des négociations, des limites d'usage et autres règles coutumières), la distribution d'eau propose une offre illimitée et n'impose aucune contrainte sur la demande, elle se conçoit en fonction de la capacité technique de fournir une quantité d'eau suffisante aux abonnés. L'estimation des quantités d'eau est déterminée par les besoins économiques et sociaux. Ces besoins ne sont pas, uniquement ceux d'une population mais d'une société dont le développement et les progrès futurs sont prévus. La fonction de la demande est en quelque sorte prédéfinie par les orientations sociales souhaitées par le monde politique, scientifique et technique. Les modalités techniques du réseau permettent un affranchissement par rapport à la localisation physique des ressources et favoriser l'utilisation insouciante en garantissant aux abonnés un prix bas et une quantité disponible au robinet quasi illimitée (Bue et al., 1992 ; Garadi, 1992).

I.8. Conclusion

Le réseau technique tel qu'il est conçu définitivement dans la deuxième moitié du 19^{ème} siècle représente une convergence d'intérêts et de grands principes d'organisation. L'évolution temporelle des méthodes d'alimentation en eau potable dans le monde industrialisé a abouti à une forme quasi standard de la distribution d'eau potable : les réseaux de distribution.

II. Ressource hydrique en Algérie

II.1. Introduction

L'Algérie se situe parmi les pays les plus pauvres en matière de potentialités hydriques, soit en dessous du seuil théorique de rareté fixé par la Banque Mondiale à 1000 m³ par habitant et par an.

Si en 1962, la disponibilité en eau théorique par habitant et par an était de 1500 m³, elle n'était plus que de 720 m³ en 1990, 680 m³ en 1995, 630 m³ en 1998.

Estimée à environ 500 m³ à l'heure actuelle, elle ne sera que de 430 m³ en 2020 et serait encore plus réduite ramenée aux ressources en eau mobilisables.

La problématique de l'eau est indissociable du développement durable dans la mesure où l'eau doit permettre de répondre aux besoins des générations actuelles sans hypothéquer, par des effets peu ou non réversibles, la capacité des générations futures à satisfaire les leurs.

Il faudrait disposer entre 15 et 20 milliards de m³ par an, en réservant 70% à l'agriculture, pour parvenir à une sécurité alimentaire satisfaisante. C'est un défi titanesque lorsqu'on sait qu'on mobilise à peine au plus 5 milliards de m³ d'eau par an (Conseil National Economique et Social, 2004).

L'eau n'est pas uniquement une matière première renouvelée mais finie et irrégulière, elle n'est pas non plus un don de ciel inépuisable et éternellement pure.

Les risques d'appauvrissement des ressources en eau imputables à d'éventuels changements climatiques sont à prendre sérieusement en compte, d'autant que la pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau, notamment l'agriculture, l'industrie et le tourisme.

Le début du 21^{ème} siècle s'annonce donc sous le signe d'une aggravation des pénuries d'eau, particulièrement dans les régions Ouest du pays en dépit du recours à d'autres formes de mobilisation de l'eau envisagée.

Les pollutions des eaux et la pression démographique influent négativement sur la disponibilité en eau déjà faible.

L'érosion importante qui affecte les plaines septentrionales diminue à la fois le potentiel agricole et les capacités de mobilisation des ressources en eau du pays.

Par ailleurs, les pertes totales dans les réseaux d'irrigation sont estimées globalement à 40% des prélèvements; elles dépasseraient 50% dans les villes et fluctuent généralement entre 30% et 70%. Ce phénomène, tellement répandu au point de devenir banal, a fini par donner l'impression qu'il relevait d'une fatalité naturelle.

Dés lors, la question qu'il conviendrait légitimement de poser n'est-elle pas de savoir si les actions préconisées sont suffisamment pertinentes lorsqu'on sait que la dotation domestique moyenne nette est de l'ordre de 55 litres par habitant et par jour et pratiquement dans toutes les villes où le service de l'eau n'est pas continu. Les populations sont exposées aux maladies parce qu'elles sont alimentées en eau par citernes ou parce qu'elles stockent de l'eau. Les volumes d'eau non facturés au niveau des établissements de l'eau atteint 50%. (Actes des assises sur l'eau, 1995).

II.2. Ressources hydriques en Algérie

Le territoire algérien couvre une superficie de près de 2,4 millions de km², mais 90% de cette étendue correspondent à un désert où les précipitations sont quasi-nulles. Dans cette partie du territoire, les ressources en eau superficielles sont très faibles et limitées essentiellement à la partie du flanc septentrional de l'Atlas ; les ressources souterraines y sont par contre abondantes mais sont très faiblement renouvelables (nappes du Sahara septentrional). Le potentiel des ressources en eau renouvelables est localisé dans le Nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la Méditerranée et les bassins fermés des Hauts Plateaux.

La pluviométrie varie de 200 mm par an sur les Hauts Plateaux steppiques à 1600 mm par an sur les reliefs de l'Atlas Tellien en bordure de la Méditerranée. En plus de cette variation Nord-Sud, on note également une augmentation de ces précipitations d'Ouest en Est.

Les potentialités en eau du pays sont estimées à un peu moins de 20 milliards de mètres cubes, dont 75% seulement sont renouvelables (60% pour les eaux de surface et 15% pour les eaux souterraines). Les ressources non renouvelables concernent les nappes du Sahara septentrional qui seraient exploitées comme un gisement et qui se traduit donc par un abattement continu du niveau de ces nappes.

Les ressources en eau dépendent du climat qui dans le cas de l'Algérie est aride à semi-aride. Elles sont donc peu abondantes et correspondent globalement à 12.4 milliards de mètres cubes pour les eaux de surface et 2.8 milliards de mètres cubes

d'eaux souterraines dont 800 millions de mètres cubes dans le Sud (ressources en eau renouvelables).

Schématiquement, les ressources en eau superficielles décroissent du Nord au Sud, au fur et à mesure que croissent les ressources en eau souterraines.

Au Nord du pays, les ressources mobilisées totales sont destinées à raison de 55,3 % à l'irrigation (2,1 milliards de mètres cubes), de 34,2 % à l'alimentation en eau potable (1,3 milliard de mètres cubes) et 10,5 % à l'industrie (0,4 milliard de mètres cubes).

Au niveau des Hauts Plateaux et du Sahara, pauvres en eaux de surface, correspondent des ressources souterraines ; de vastes nappes profondes aux circulations complexes, y ont été mises en relief, elles présentent l'inconvénient de n'être pas renouvelables au Sahara (DGAIH, ANRH, Groupement BETURE/CARL SALZGITTER, 1997).

La pollution des ressources en eau commence à atteindre des proportions inquiétantes notamment dans la région Tellienne où se trouve la plus grande partie des ressources en eau. La disponibilité en eau déjà faible risque de l'être davantage du fait de cette pollution des eaux usées mais également des pollutions chimiques (industrie et agriculture).

II.2.1. Ressources en eaux souterraines

Les eaux souterraines ont été évaluées dans le Nord à environ 1,9 milliard de mètres cubes. Ces ressources qui sont relativement plus faciles à mobiliser, sont aujourd'hui exploitées à plus de 90 %; beaucoup de nappes sont même dans un état de surexploitation critique.

Actuellement, on estime à plus de 12.000 forages, 9.000 sources et 100.000 puits qui sollicitent les nappes pour les besoins de l'agriculture et l'alimentation en eau potable et industrielle.

La répartition des eaux souterraines du Nord par région hydrographique se présente comme suit :

Tableau 01: Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord de l'Algérie (DGAIH, ANRH, Groupement BETURE/CARL SALZGITTER, 1997)

Bassin hydrographique	Ressources potentielles (hm ³ / an)	Total (%)
Oranie Chott Chergui	375	19.7
Chélif Zahrez	231	12.2
Algérois Soumam Hodna	745	39.2
Constantinois Seybouse Mellègue	28,9	28.9
Total	1.894	100.0

A l'inverse des ressources en eaux souterraines situées dans le Sud, les réservoirs du Nord du pays sont renouvelables, ils concernent au total 126 nappes principales.

Les nappes ayant fait l'objet d'une modélisation sont au nombre de huit et représentent 35% du potentiel des eaux souterraines de l'Algérie du Nord.

Dans le Sud, quelques nappes phréatiques, souvent saumâtres, existent dans les lits d'oueds tels que les oueds Righ, M'zab et Saoura, mais l'essentiel du potentiel en eau se trouve dans les nappes du Sahara septentrional qui ont fait l'objet d'études en 1969-1971, (ERES UNESCO) et en 1981-1985 (ANRH, Projet RAB PNUD).

Le renouvellement de ces nappes fossiles ou semi-fossiles n'est assuré qu'à hauteur de 800 millions de mètres cubes environ. Selon les dernières études citées ci-dessus, l'exploitation de ces nappes pourrait être portée à cinq milliards de m³/an dont 56 % pour le continental intercalaire et 44 % pour le complexe terminal ainsi que l'indique le tableau ci-dessous:

Tableau 02: Prélèvements possibles des eaux souterraines en région arides algériennes(DGAIH, ANRH, Groupement BETURE/CARL SALZGITTER, 1997)

Wilaya	Prélèvements possibles (Hm ³ /an)		
	Continental intercalaire	Complexe Terminal	Totaux
Biskra	24,6	9,3	33,9
El Oued	310,5	713,9	1024,4
Ouargla	507,0	1446,2	1953,2
Ghardaia	559,9	-	559,9
Adrar	1180,1	-	1180,1
Tamanrasset	184,8	-	184,8
Totaux	2766,9	2169,4	4936,3

II.2.2. Ressources en eau de surface

Les écoulements de surface avaient été estimées pendant la période coloniale à 15 milliards de m³ (19^{ème} Congrès géologique international Alger – 1952) pour les bassins tributaires de la Méditerranée (123000 km²), c'est-à-dire sans tenir compte des bassins qui dépendent des chotts. Dans les dernières études menées dans le cadre du Plan National de l'eau (ANRH et DGAIH) et qui intègrent des années de sécheresse (jusqu'à 1993), les ressources en eau de surface sont évaluées à 12.4 milliards de m³ répartis par bassin hydrographique selon le tableau 03 suivant:

Tableau 03: Répartition spatiale des eaux de surface (DGAIH, Groupement BETURE/CARL SALZGITTER, 1997 ; Projet RAB, 1987)

Bassin hydrographique	Ressources potentielles (hm ³ / an)	Pourcentage (%)
Oranie Chott Cchergui	1025	8,7
Chélif Zahrez	1840	15,7
Algérois Soumam Hodna	4380	37,3
Constantinois Seybouse Mellègue	4500	38,3
Sud	600	0,48
Total	12.345	100.0

Les débits sont irréguliers au cours de l'année avec des étiages souvent nuls et des crues de courtes périodes mais violentes, causant une érosion à l'amont et des inondations à l'aval.

L'irrégularité interannuelle est aussi marquée et les extrêmes observés au niveau de certains ouvrages (tableau 04) montrent l'importance des écarts, et présentent la difficulté qu'il y a à régulariser les écoulements en Algérie (DGAIH, ANRH, Groupement BETURE/CARL SALZGITTER, 1997).

Tableau 04: Variation interannuelle des apports au niveau de certains barrages (1943 – 1993)

Barrages	Apport en hm ³ /an			
	moyen inter-annuel	minimum	Maximum	Rapport
<i>Beni Bahdel</i>	71	19	116	6.1
Bouhnifia	122	17	467	27.5
Cheurfas	76	18	235	13.1
Fodda	99	10	234	23.4
Ghrib	152	20	500	25.0
Eraguène	130	42	282	6.7
Ighil Emda	182	37	427	11.5
Chéffia	154	18	338	18.8

A noter que les besoins en eau ont tendance à être à forte composante saisonnière : l'irrigation, la population, ainsi que la part du tourisme concentré dans les zones littorales concourent à déterminer une forte saisonnalité des utilisations de l'eau. A l'inverse de la variabilité saisonnière des ressources : les demandes en eau sont maximales quand les ressources sont minimales. Ce déphasage entre le régime des ressources et des demandes se produit également à l'échelle interannuelle, ce qui accentue les risques de pénurie conjoncturelle.

II.3. Prélèvements des ressources en eau

On peut ainsi estimer que pendant ces dernières années les prélèvements en eau de surface à partir des barrages ont été d'environ 300 millions de m³ pour l'alimentation en eau potable, 270 millions de m³ pour l'irrigation dans les grands périmètres irrigués, soit un total de 570 millions de m³. Pour les eaux souterraines dans le Nord

du pays, il est indiqué qu'elles sont évaluées globalement à 2 milliards de mètres cubes et qu'elles sont mobilisées à concurrence de 1,6 milliard de mètres cubes.

A cet effet, il est précisé que de 1990 à 1999, il a été mobilisé 1 milliard de m³ d'eaux souterraines, ce qui peut laisser croire qu'avant 1990, il n'a été mobilisé que 600 millions de m³ (ce qui semble peu vraisemblable dans la mesure où en 1989, on estimait déjà que les eaux souterraines étaient exploitées à 80%) (Conseil National Economique et Social, 2004). En dehors de statistiques, les prélèvements totaux sur les eaux souterraines ne peuvent être qu'approximatifs.

Si on peut considérer que les eaux souterraines connues du Nord du pays sont totalement exploitées, celles du Sud ne le seraient qu'à hauteur de 1,7 milliard de mètres cubes.

Le taux d'exploitation serait donc de 34 % en moyenne et est sensiblement le même pour les deux nappes (complexe terminal et continental intercalaire). Toutefois dans les zones à faibles potentialités (Biskra) le taux d'exploitation est déjà très élevé.

D'une manière générale, on peut estimer que les ressources en eau prélevées ces dernières années, seraient de l'ordre de 4,1 à 4.15 milliards de m³ répartis comme suit (Conseil National Economique et Social, 2004) :

Tableau 05: Volume de prélèvement par type de ressource

Ressource	Prélèvement (Hm ³)
Eaux de surface (barrages)	700
Eaux de surface (fil de l'eau et collinaires)	100 à 150
Eaux souterraines Nord	1600
Eaux souterraines Sud	1700
Total	4100 à 4150

Ces volumes sont utilisés donc à hauteur d'un tiers pour l'alimentation en eau potable et industrielle et le reste pour l'irrigation.

Il convient de noter que les prélèvements sont de 500 m³ par habitant dans le Nord alors que dans le Sud du pays, ils ne sont que de 90 m³ par habitant.

II.4. Conclusion

Les enjeux de l'eau d'ordre social, économique, écologique, sécuritaire et politique, sont considérables et prendront plus d'ampleur et d'intensité au fil des ans. Il est impératif d'accorder toute l'attention aux infrastructures qui abritent et véhiculent cette ressource fragile. Sa préservation des atteintes et menaces diverses pour lui assurer sa valeur économique réelle doit être une préoccupation majeure de l'état.

Les enseignements de la gestion antérieure sont utiles même dans leurs aspects négatifs parce qu'ils permettent d'agir sur les dysfonctionnements enregistrés.

La préservation des ressources en eau doit passer tout d'abord par des actions en aval visant la sensibilisation des différents usagers, la revalorisation de l'eau et la lutte contre la prolifération des pertes et des fuites dans tous les systèmes de production, de transfert et de distribution d'eau.

Cependant, certains points qui forment la trame complexe du cycle de l'eau méritent encore approfondissement, mais ils mettent en évidence l'interdépendance de tous les volets dont l'imbrication harmonisée et les impacts croisés constituent la pierre de touche de l'efficacité.

III. Données générales sur la région de Biskra

III.1. Introduction

Depuis son existence, Biskra était une plaque tournante entre le nord et le sud de part sa situation géographique, son climat et ses ressources naturelles et agricoles. Elle a connu le passage de plusieurs civilisations.

Cette région a toujours été appréciée par l'accueil chaleureux de ses habitants et elle a constitué un pôle d'attraction pour les touristes vu son potentiel touristique et son climat doux durant une bonne période de l'année.

III.2. Situation géographique

Biskra se situe entre deux zones distinctes, au nord la chaîne montagneuse de l'Atlas saharien qui constitue une limite naturelle entre le nord et le sud, à l'ouest la chaîne des Ziban qui rejoint par le sud, la chaîne des Aurès.

La wilaya de Biskra est issue de la refonte territoriale de 1974 s'étale sur une superficie de 21671.20 km², elle est limitée par les wilayas de Batna, M'sila, Djelfa, Khenchela et El Oued. Elle constitue un carrefour entre les villes du nord du pays, notamment Constantine, Batna, Khenchela, Sétif et Annaba et celles du sud, El-Oued, Ouargla, Ghardaïa et Hassi-Messaoud. Sa population est estimée à 603799 habitants (recensement général de 1997), soit une densité moyenne de 28 habitants/km².

Parmi les plus importantes agglomérations de la wilaya de Biskra, on peut citer : Biskra, Tolga, Sidi-Okba, Ouled-Djellal, El-outaya, El-Khantara et Zeribet-El-Oued.

III.3. Géologie et topographie de la région de Biskra

Les terrains de cette région sont d'origine sédimentaire ancienne ou récente. La stratigraphie fait ressortir les éléments suivants :

- Sédiments fréquemment rencontrés sont : le tria, le jurassique et le continental intercalaire.
- Quaternaire ancien à base de cailloutis.
- Terrains à dominante calcaire, dolomies marnes, argiles, sables, grés et sel gemme.

La région de Biskra se situe sur un bassin d'une altimétrie moyenne de 120 m N.G.A. Cette région forme une jonction entre deux entités naturelles distinctes qui sont la zone montagneuse relativement accidentée (monts des Aurès et de Zab) et la zone de plaine vaste et plate ouverte sur le Sahara au sud (ANAT, 2003).

III.4. Climat et pluviométrie

La région est caractérisée par un été chaud et très sec et un hiver froid. Deux types de vents sont fréquents durant l'année, les vents du nord qui soufflent pendant l'hiver d'une vitesse pouvant atteindre 150 km/h avec un taux d'humidité maximum de 85%. Les vents du sud et du sud-ouest caractérisés par l'entraînement des sables qui soufflent durant le printemps et l'été. Les températures sont relativement élevées durant cinq mois à partir du mois de Mai jusqu'au mois de Septembre. La température moyenne au cours de cette période chaude est de 43.4°C. Les pluies sont rares et les précipitations moyennes annuelles sont à l'ordre de 200 mm. Toutefois, la région a connu des pluies exceptionnelles qui ont, d'ailleurs provoqué des inondations et des dégâts importants (1969, 1979, 1989, 2001) (ANAT, 2003).

Par ailleurs, la couverture végétale dans cette région est très faible et la surface couverte ne dépasse pas 5% de la surface totale. De ce fait, l'évaporation est considérable et son taux moyen est estimé à 2600 mm/an. Cette région est désormais, considérée comme une zone aride et se trouve parmi les régions les plus menacées par la désertification.

III.5. Etat actuel du système d'alimentation en eau potable de la région de Biskra

III.5.1. Ressources en eau potable

Alimentant l'ensemble de l'agglomération de Biskra, les champs captant de Oued Biskra et de Megloub constituent les ressources principales en eau potable. D'autres points d'eau se situant à l'intérieur même de l'agglomération contribuent au renforcement du débit mis en circulation.

Alimentant l'ensemble de l'agglomération de Biskra, les champs captant de Oued Biskra et de Megloub constituent les ressources principales en eau potable. D'autres points d'eau se situant à l'intérieur même de l'agglomération contribuent au renforcement du débit mis en circulation.

Les eaux souterraines représentent l'unique ressource en eau potable dans toute la région de Biskra. La mobilisation de ces eaux se fait généralement au moyen de forage peu profonds. La ville de Biskra est approvisionnée à partir de deux principaux champs captant ainsi que par un nombre important de forages à l'intérieur de la ville. Les ressources en eau potable peuvent être présentées comme suit (tableaux 06, 07 et 08):

Tableau 06: Forages alimentant la ville de Biskra en eau potable

a) Champ captant de Megloub

Forage	Année de réalisation	Production l/s	Débit l/s	Stockage
F4 REMP	1994	25	27	Réservoir Tampon
F5	1980	35	45	
F7	1981	30	35	
F8 REM	1995	30	40	
F8 BIS	1993	35	40	
F9	1989	35	40	
F10	1992	35	40	
F12	1995	30	40	
Total		255	307	

b) Champ captant de Oued Biskra

Forage	Année de réalisation	Production l/s	Débit l/s	Stockage
F1 BIS	1990	30	35	Réservoir Rodary et Baatouche
F2	1988	30	40	
SIF 4 BIS	1986	30	35	
F3	1971	35	40	
F4 BIS	1987	35	40	
B1	1954	55	65	Réservoir Haï El Moudjahidine
SIF 5	1970	20	25	
SIF 6	1970	20	25	
SIF 6 BIS	1987	30	35	
B2 ALIA	1989	27	30	Réservoir Z.H.U.N EST
B4 ALIA	1994	27	30	
B5 ALIA	1992	10	12	
B6 ALIA	1994	10	12	
Total		359	424	

c) Intérieur de la ville de Biskra

Forage	Année de réalisation	Production l/s	Débit l/s	Stockage
Ras El Gueria	1988	27	30	Réservoirs Rodary et Baatouche
Ras El Gueria	1990	20	25	
Wilaya	1994	15	20	
Maison des jeunes aveugles	1991	27	30	
El Hawza	1987	17	20	
Zouaka	1995	20	25	
Camping	1996	20	25	
Sûreté	1996	0	30	
Résidence Wali	1994	10	13	
Groupement gendarmerie	1996	15	30	Réservoir Z.H.U.N EST
Université	1996	0	20	
Boukhalfa	1982	30	35	
Felliache 2	1985	20	25	
Total		221	328	

Tableau 07: Forages alimentant la ville de Tolga en eau potable

Forage	Production l/s	Débit l/s	Stockage
F1	17	20	Réservoir 3000 m ³
F2	08	10	
F3	17	20	
Haddoud	14	20	
Route Foughala	23	30	Réseau de la ville
Ancienne Daïra	12	14	
La Gare I	07	08	
Lebdâa	12	15	
Nouvelle Daïra	09	12	
Total	119	149	

Tableau 08: Forages alimentant la ville de Sidi-Okba en eau potable

Forage	Production	Débit	Stockage
--------	------------	-------	----------

	l/s	l/s	
B1	10	12	Réservoir 2000 m ³
B2	25	30	
B3	15	17	
Sedda	08	11	Réseau de la ville
Thouda	12	14	
H'ssaya	12	15	
Total	82	99	

Source : ADE Biskra

III.5.2. Adduction d'eau potable

Le transfert des eaux des différents forages s'effectue par cinq adductions soit vers des réservoirs de stockage soit en injection directe dans le réseau. Les tableaux 09, 10 et 11 rassemblent toutes les informations relatives à aux adductions dans la région de Biskra.

Tableau 09: Caractéristiques des différentes adductions dans la ville de Biskra

Diamètre (mm)	Forage	Réservoir	Injection directe
300 500	F4 Bis et F3	5000 m ³	
400	F1 Bis et F2	5000 m ³	
200	SIF 4 Bis, SIF 6 et SIF 6 Bis		Haï El Moudjahidine
200	B2, B4, B5, B6		El Alia
200	B1	Baatouche	
300 400 400 300 200	F 7 F 5 et F 10 F 8 REM F 4 REM F 9	Réservoir Tampon 500 m ³	
150	Ras El Gueria 1		Wilaya
125	Ecole des jeunes aveugles		Boulevard Hakim Saâdane
200	Boukhalfa		El Alia
100	Felliache 2		Z.H.U.N EST
	Wilaya		Wilaya
	Zouaka		Boulevard Hakim Saâdane
	Camping		Fort Turc
	Sûreté		Centre ville
	Université		Cité universitaire
	Ras El Gueria 2		Ras El Gueria

	El Hawza		El Hawza
	Groupement gendarmerie		El Alia
	Résidence Wali		Boulevard hôtel des Zibans

Source : ADE Biskra

Tableau 10: Caractéristiques des différentes adductions dans la ville de Tolga

Diamètre Mm	Longueur M	Forage	Réservoir	Injection directe
150	500	F2	3000 m ³	
150	500	F1	3000 m ³	
125	500	F3	3000 m ³	
250	3000	Haddoud	3000 m ³	
100	10	R. Foughala		Réseau Ville
100	10	Ancienne Daïra		Réseau Ville
100	10	La Gare I		Réseau Ville
100	10	Lebâa		Réseau Ville
100	10	Nouvelle Daïra		Réseau Ville
Total	4550 ml			

Tableau 11: Caractéristiques des différentes adductions dans la ville de Sidi-Okba

Diamètre Mm	Longueur m	Forage	Réservoir	Injection directe
200	1000	B1	2000 m ³	
200	1000	B2	2000 m ³	
200	1000	B3	2000 m ³	
200	400	Sedda		Réseau s/Okba
200	300	Thouda		Réseau s/Okba
200	60	H'ssaya		Réseau s/Okba
Total	3760 ml			

Source : ADE Biskra

III.5.3. Réseau de distribution

La ville de Biskra est découpée en six grandes zones de distribution. Ce découpage tient compte de la géographie, de la topographie ainsi que des extensions de l'urbanisme et du développement des diverses activités de la région. Les zones issues de ce découpage sont :

- Zone A : Centre ville, quartier nord de la rivière, lotissement Ferhat, lotissement khobzi et Star M'louk.
- Zone B : Quartier sud de la rivière, vieux Biskra
- Zone C : Z.H.U.N Ouest
- Zone D : Quartier des 1000 logements.
- Zone E : Haï El Moudjahidine
- Zone F : El Alia nord, Z.H.U.N Est (El Alia Sud)

a) Configuration générale du réseau de distribution

La configuration générale du réseau de distribution d'eau potable de la ville de Biskra est présentée sur la base du type de réseau, du nombre de mailles et ramifications ainsi que des grandeurs des diamètres qui le constituent. Le tableau 12 présente les caractéristiques géométriques des réseaux d'eau potable par zone selon le découpage déjà établi.

Tableau 12: Caractéristiques géométriques du réseau d'eau potable de la ville de Biskra

Zone	Type du réseau	Gammes de diamètres (mm)
A	Maillé-Ramifié	150, 200, 300, 350, 500
B	Ramifié	125, 150, 200, 300
C	Maillé-Ramifié	150, 200, 250, 350
D	Ramifié	150, 200, 500
E	Maillé	150, 200, 400, 500
F	Maillé-Ramifié	250, 400

b) Réservoirs de stockage

Les réservoirs de stockage répartis sur le territoire des trois localités principales de la région de Biskra ont une capacité totale de stockage d'environ 15000 m³ dans la ville de Biskra, 3000 m³ à Tolga et 2400 à Sidi-Okba. Ces capacités sont normalement largement dépassées par les volumes importants des besoins ce qui explique le recours des gestionnaires locaux à procéder à des injections directes dans les réseaux de distribution (tableau 13).

Tableau 13 : Capacités des réservoirs de stockage d'eau potable

Biskra		Tolga		Sidi-Okba	
Désignation	Capacité (m ³)	Désignation	Capacité (m ³)	Désignation	Capacité (m ³)
Ben Baatouche	5000	Réservoir	3000	Bir Boussoudane	2000
El Haï	3000	Farfar	150	H'saya	400
El Alia	3000			Sériana	200
EPEBIS	150				
Hamam Salehine	2x2000				

Source : ADE Biskra

III.6. Conclusion

Les données nécessaires au suivi de la gestion et à l'analyse des systèmes d'eau potable dans la région de Biskra, fournies par le prestataire de service d'eau potable, sont actuellement insuffisantes. En effet, les données de base demandées sont généralement, les localisations des ouvrages principaux, la nature de la ressource utilisée, et les volumes correspondants. Il est également demandé le nombre d'habitants, de branchements domestiques et non domestiques avec les volumes produits. On précisera le nombre d'abonnés et la période de pointe.

Enfin, on donne les informations nécessaires sur la qualité de l'eau distribuée.

IV. Analyse de la distribution d'eau potable dans la région de Biskra

IV.1. Introduction

La maîtrise de la gestion de l'eau a toujours été considérée en Algérie comme un objectif prioritaire du développement du pays. La gestion des ressources hydriques, de façon générale, se heurte pour l'heure à trois catégories de problèmes : les exploitations qui dépassent le régime de renouvellement naturel de la ressource, les pollutions diffuses ou ponctuelles souvent durables, et les situations de pénuries saisonnières.

L'Algérie subit, depuis plus de deux décennies, une sécheresse persistante qui a réduit de plus de 20 % la moyenne annuelle des pluies et des apports. Un important programme de mobilisation et de transfert de la ressource en eau superficielle, dont l'ambition, à moyen terme est de combler les déficits chroniques que connaît l'alimentation en eau potable et l'irrigation en Algérie a été engagé (Margat, 2000).

La prise de conscience des problèmes d'eau apparaît plus marquée à partir de la seconde moitié des années 1990. Ce changement de mentalité vis-à-vis de l'eau est intervenu au moment de la sécheresse qui a marqué particulièrement l'Ouest du pays et qui a déclenché les premières actions contre le gaspillage de l'eau. Par ailleurs, il a été constaté, au cours de la période 1980 - 1984 que la croissance de la production brute en eau a été de 65.2 % pour une croissance de population de 39.3 % (la production brute par habitant est passée de 152 l/j à 180 l/j (Salem, 1998).

La demande en eau potable en Algérie ne cesse de croître dans des proportions qui sont encore mal connues. Actuellement, la plupart des villes algériennes connaissent au moins un problème lié à l'eau, soit en distribution (réseaux, réservoir de stockage) soit en approvisionnement (ressources, station de traitement, adduction) ou même en évacuation des eaux usées (système unitaire ou séparatif, réseaux, rejets et station d'épuration..). Les facteurs naturels, démographiques et économiques se combinent pour créer les plus mauvaises conditions d'accès à l'eau potable.

Dans ce contexte et particulièrement dans les régions arides du sud, maîtriser la gestion des ressources hydriques et minimiser les pertes d'eau sont autant d'enjeux stratégiques et opérationnels pour la société et l'économie.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude de la fiabilité des réseaux et l'analyse des pertes dans les systèmes d'alimentation d'eau potable. Parmi les travaux importants les plus récents, on peut citer, ceux présentés au cours des congrès de l'IWA (International Water Association) : Leakage 2005 et Waterloss 2007. Cependant très peu concernent les réseaux avec un faible niveau de comptage et sur lesquels la distribution est discontinue.

Cette partie de la thèse présente une analyse de la demande dans la région de Biskra dans le sud algérien fondée sur une extrapolation à partir d'un panel d'abonnés pour lesquels les données de prélèvement sont mesurées. La comparaison par rapport aux volumes produits permet d'apprécier les pertes d'eau dans les systèmes de distribution. La mesure des débits de nuit complète cette analyse. Nous présentons également les analyses effectuées sur les variations temporelles de la consommation d'eau potable ainsi que les résultats obtenus relatifs à la demande moyenne individuelle en eau dans cette région. Nous tenterons ainsi de formuler les recommandations nécessaires pour aboutir à une meilleure connaissance du fonctionnement des systèmes de distribution et des différents paramètres de la consommation d'eau en Algérie.

IV.2. Usagers d'eau potable

IV.2.1 Usagers domestiques

Le nombre d'abonnés dans les trois localités principales de la région de Biskra a connu une augmentation considérable. Passant de 33098 abonnés consommateurs domestiques d'eau en 1995 à 37991 abonnés au cours de l'année 2004. La moyenne des nouveaux branchements s'élève à 544 par an.

Il a été constaté que la plupart des abonnés domestiques ne sont pas dotés de compteurs et que leurs consommations en eau sont évaluées forfaitairement par l'exploitant. Du côté de l'exploitant, on considère que le manque de comptage chez la plupart des abonnés est dû principalement à son incapacité financière de généraliser l'utilisation de cet instrument de mesure. Les résultats de nos enquêtes ont montré que le taux d'utilisation du comptage dans l'ensemble des villes concernées est relativement faible et que le problème de renouvellement du parc de compteurs est sérieusement posé. Nous proposons de présenter à travers les figures 1 et 2

l'évolution des abonnements domestiques aux réseaux publics de distribution d'eau potable dans la région de Biskra.

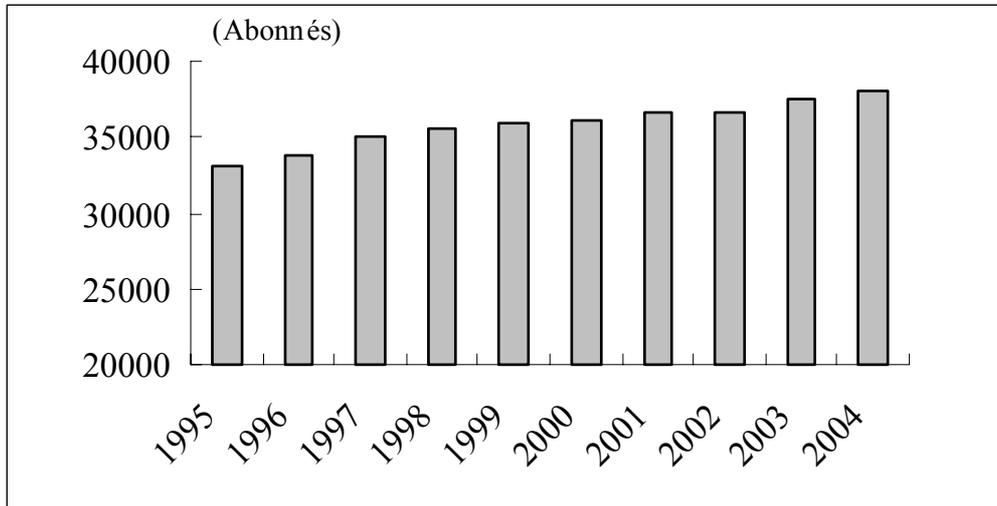


Figure 1: Evolution du nombre total d'abonnés domestiques

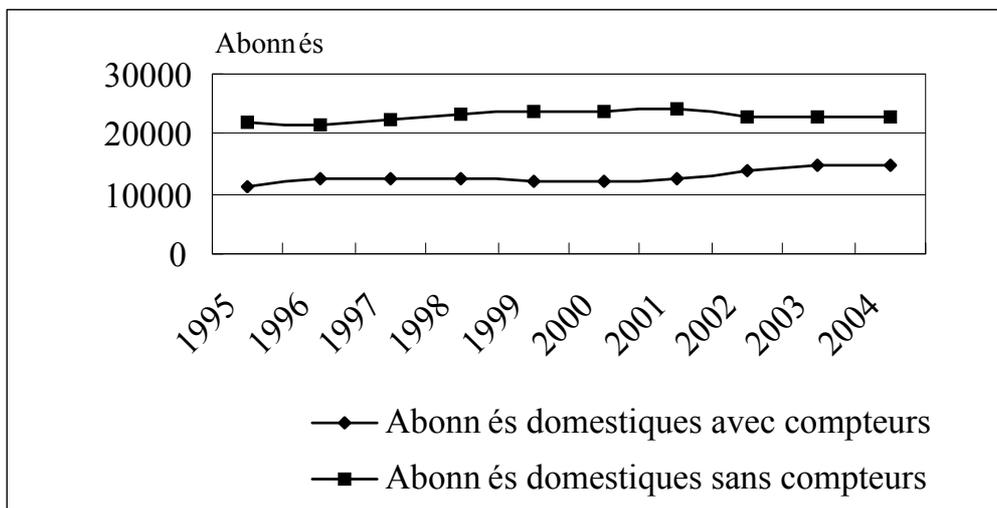
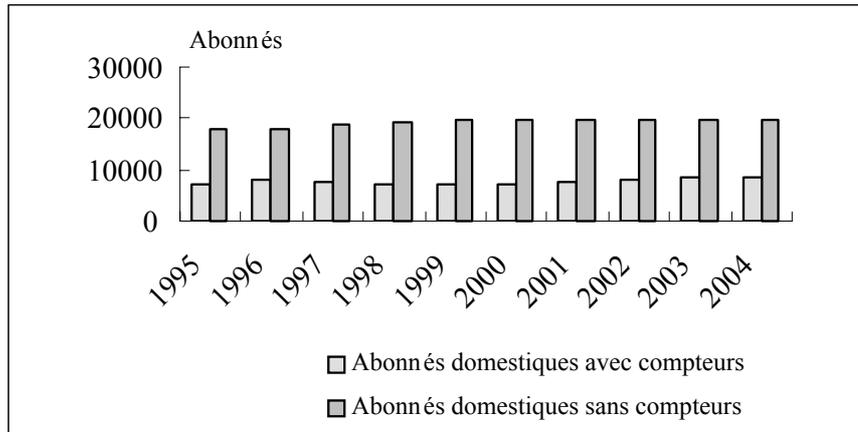


Figure 2 : Evolution du nombre total d'abonnés domestiques avec et sans comptage

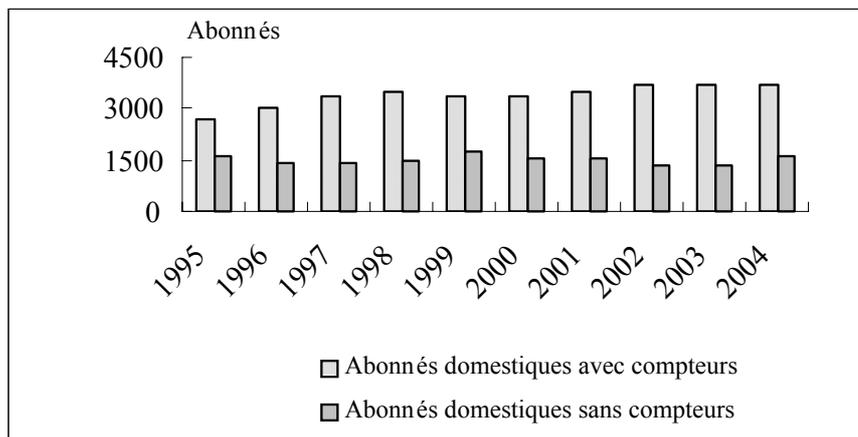
Il a été constaté que la plupart des abonnés domestiques ne sont pas dotés de compteur et que leurs consommations en eau sont évaluées forfaitairement par l'exploitant. Cette situation a généré des pratiques de gaspillage et des

surconsommation d'eau chez les uns et une surévaluation des volumes consommés chez les autres. Du côté de l'exploitant, on considère que le manque de comptage dans la plupart des habitations est dû principalement à l'incapacité financière de l'exploitant (entreprise publique) de généraliser l'utilisation de cet instrument de mesure. Les résultats de nos enquêtes ont montré que le taux d'utilisation du comptage dans l'ensemble des villes concernées par cette étude est relativement faible (figure 4). Le problème de renouvellement du parc de compteurs est sérieusement posé. Nous proposons de présenter à travers les graphiques de la figure 3, l'évolution du nombre d'utilisateurs domestiques avec et sans compteurs (Kettab et al., 2006 ; Masmoudi et al., 2005).

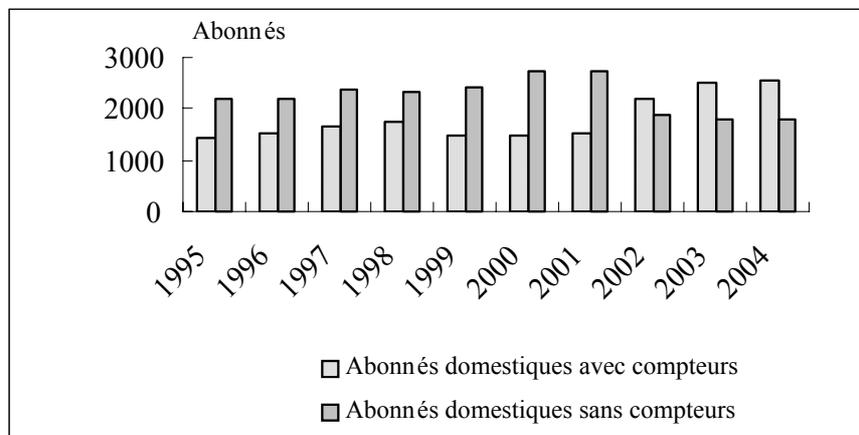
a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba



Figures 3 : Nombre d'abonnés domestiques par localité

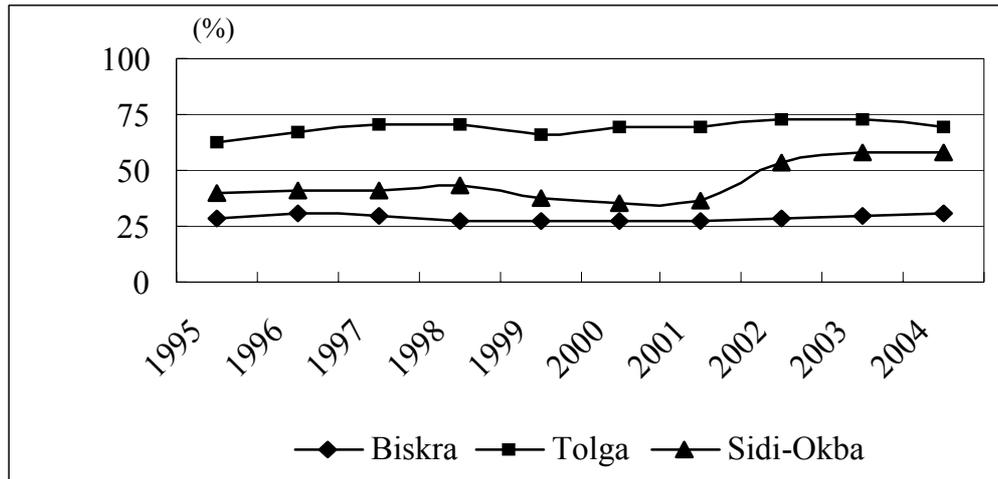


Figure 4 : Taux d'utilisation du comptage entre 1995 et 2004

IV.2.2 Usagers commerciaux et publics

A l'instar de la plupart des régions et des villes algériennes, les localités de Biskra sont connues par leur expansion urbanistique et par un développement rapide des activités commerciales, industrielles et agricoles. Le nombre de commerces, de petites industries, des administrations ainsi que d'autres équipements culturels, scolaires, universitaires, sportifs, touristiques, sanitaires et religieux ne cessent d'augmenter. En effet, les enquêtes menées ont montré que le nombre total des abonnés commerciaux et publics consommateurs d'eau est passé de 1145 en 1995 à 1625 à la fin de 2004. Par conséquent, le développement des différentes activités a fait que, en moyenne 54 nouveaux raccordements aux réseaux s'effectuent par année (Figure 5).

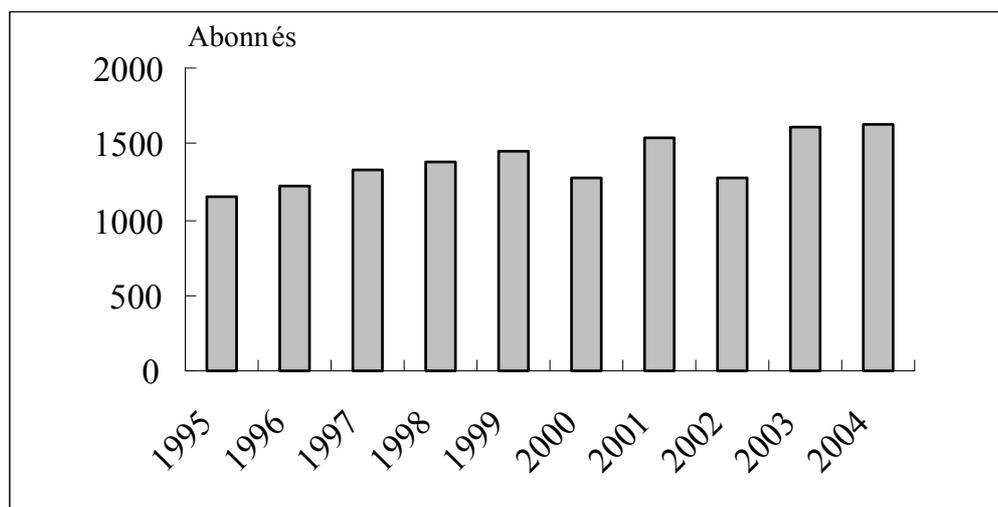


Figure 5: Evolution du nombre total d'abonnés commerciaux et publics

Néanmoins, le problème de la quantification des volumes réellement consommés est toujours posé. Bien que, les abonnés gros consommateurs d'eau sont généralement dotés de compteurs d'eau, nombreux sont les administrations et d'autres établissements raccordés aux réseaux mais qui ne sont pas équipés de compteurs. Concrètement, sur les 1625 abonnés, seuls 819 ont des compteurs avec un taux de défectuosité de 20 à 30%.

A titre indicatif, les figures 6 et 7 montrent d'une part, l'évolution des abonnements avec et sans compteurs de 1995 à 2004 et d'autre part, l'évolution du nombre d'utilisateurs avec et sans comptage des trois villes testées durant la même période.

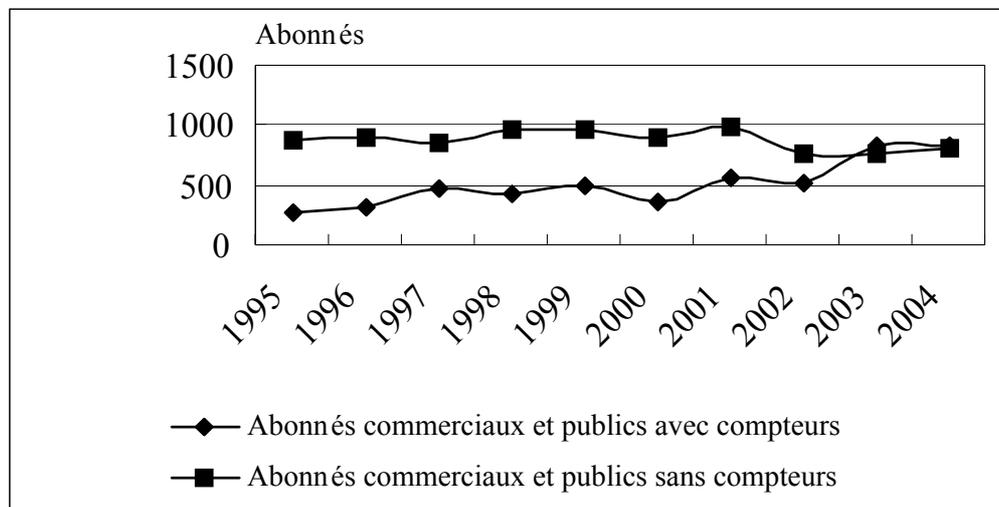
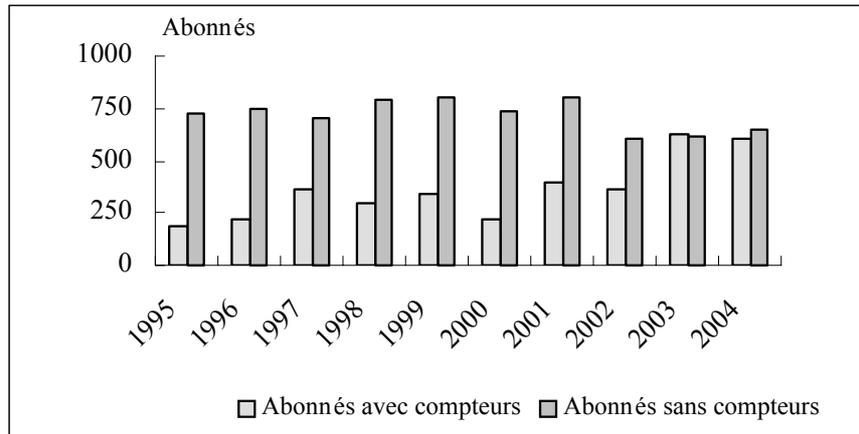
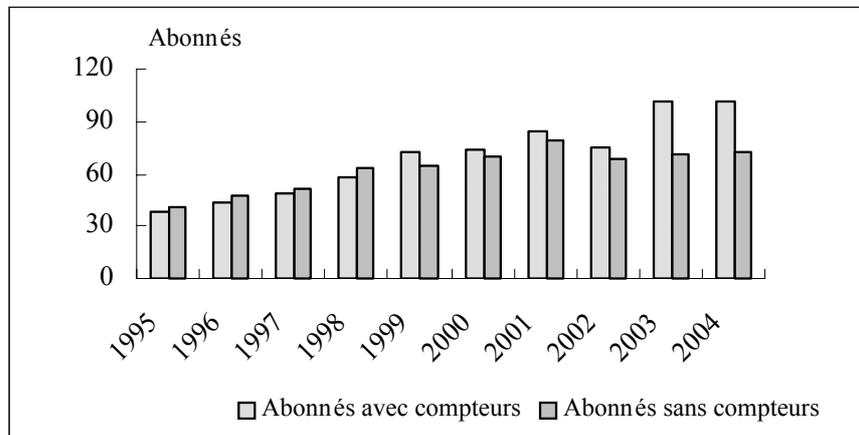


Figure 6 : Evolution du nombre d'abonnés commerciaux et publics avec et sans comptage

a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba

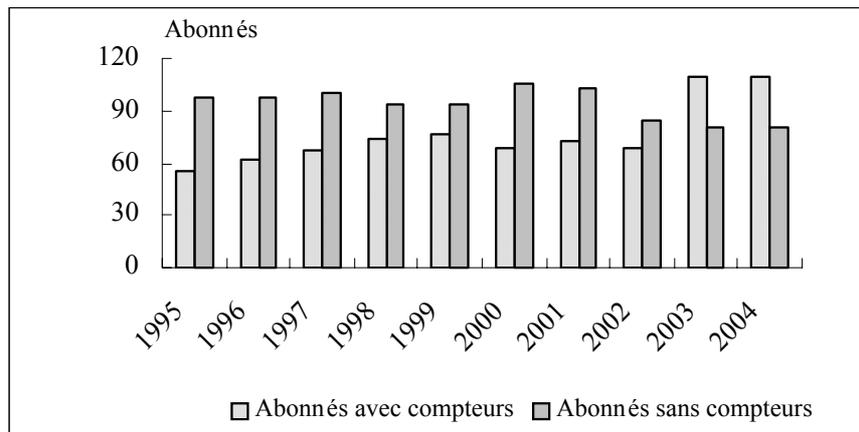


Figure 7 : Evolution du nombre d'abonnés commerciaux et publics par localité

Généralement, l'utilisation de compteurs chez les commerces et les établissements publics n'est pas meilleure de celle chez les consommateurs domestiques. Les taux d'utilisation sont assez faibles et se situent entre 25 et 50% (Figure 8).

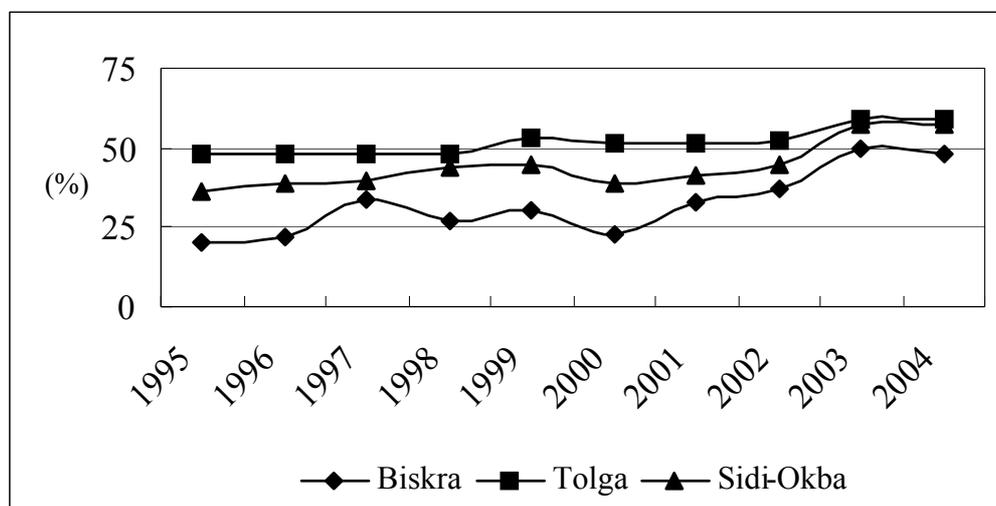


Figure 8 : Taux d'utilisation du comptage entre 1995 et 2004

IV.2.3 Usagers industriels

Le tissu industriel dans la région de Biskra est constitué principalement de deux grands complexes industriels (ENICAB et ELATEX) respectivement entreprise nationale d'industrie des câbles et complexe des textiles ainsi que de quelques unités de faible importance (Sonatrach 1 et 2, Naftal 1 et 2).

Ces industries sont approvisionnées, d'une part à partir du système public d'eau potable de la ville de Biskra et d'autre part, au moyen de forages existants à l'intérieur même des usines. Ce qui implique d'ailleurs que le débit journalier global soutiré du réseau d'eau potable est relativement faible et qui s'élève à 400 m³/j.

Limitée à un nombre restreint d'établissement consommateurs d'eau, la consommation industrielle est relativement mieux connue que celle des usages domestiques. L'utilisation des ressources autonomes par l'industrie a fait que les prélèvements au réseau public sont relativement faibles et constantes en volume depuis l'année 2000.

IV.3. Consommations en eau potable

IV.3.1 Analyse des consommations facturées

L'absence des compteurs d'eau chez la majorité des usagers a fait que la quantification des volumes réellement consommés est très délicate. Toute fois, la facturation des consommations domestiques a permis d'évaluer les quantités d'eau consommées avec et sans compteurs. Les volumes quantifiés à partir des comptages peuvent être considérés comme des données plus ou moins fiables. Par contre, les volumes forfaitaires ne peuvent être pris en considération dans l'évaluation de la consommation en eau qu'à titre comparatif dans le but de démontrer les inconvénients de ce mode de quantification autant pour l'utilisateur que pour l'exploitant (Masmoudi et al., 2004 ; Masmoudi et al., 2005).

Pour évaluer les quantités d'eau consommées, on s'est basé à priori sur les relevés déjà opérés par les services des eaux pendant la période 1995-2004.

IV.3.1.1 Consommation domestique

La consommation domestique en eau potable des villes de : Biskra, Tolga, et Sidi-Okba a connu au cours de la dernière décennie des variations saisonnières et annuelles importantes. Ces variations ne traduisent pas souvent l'évolution croissante du nombre de consommateurs et l'augmentation des besoins en eau des populations.

Les consommateurs dotés de compteurs d'eau ne représentent en moyenne que 45% de l'ensemble des abonnés de toute la région étudiée. A cette contrainte s'ajoute le problème de la défektivité de certains compteurs installés, même si on ne possède pas de statistiques sur leur nombre. Le service des eaux différencie les volumes annuels consommés et facturés suivant la manière de leurs détermination : volumes mesurés par le système de comptage mis en place et consommations forfaitaires selon le type d'habitation et le nombre d'étages. Quoiqu'il en soit, les données relatives à la consommation en eau des habitants ont permis d'estimer les quantités soutirées, les variations annuelles et saisonnières ainsi que les prélèvements moyens individuels dans ces agglomérations.

Les données relatives à la consommation en eau domestique fournies par le service des eaux apparaissent de la manière suivante:

A) Prélèvements annuels globaux

Les volumes annuels de consommation en eau des habitants sont scindées en deux, suivant la manière de leurs déterminations. Des quantités mesurées par le système de comptage mis en place : consommation avec compteur, et des volumes estimés selon le type de l'habitation et le niveau de l'étage dans les habitations collectives : consommation sans compteur (figures 9, 10 et 11).

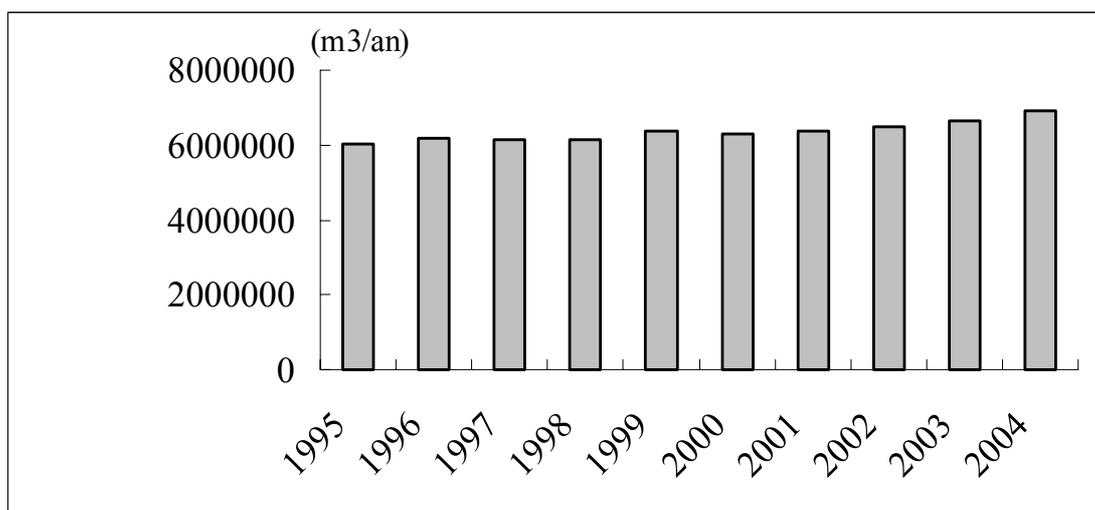


Figure 9 : Prélèvements Annuels globaux en eau potable dans la région de Biskra (1995-2004)

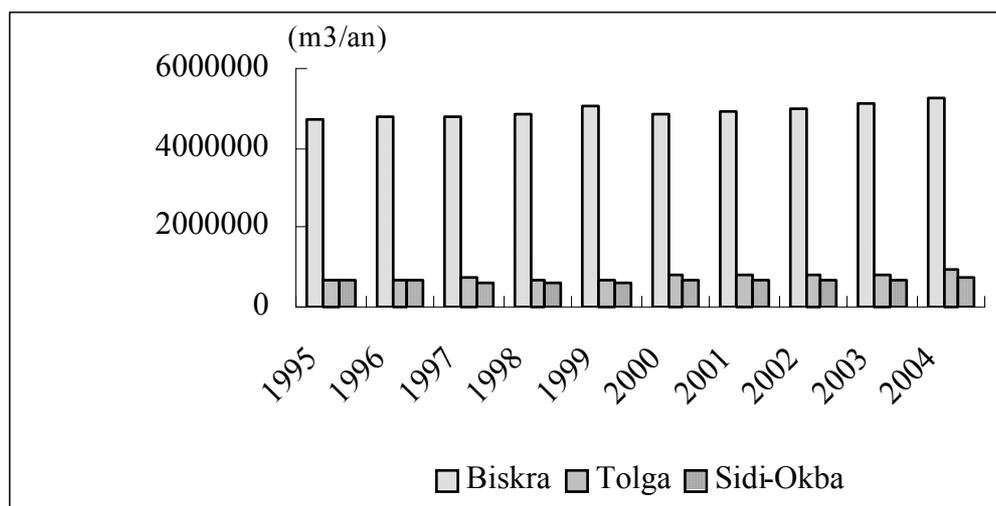
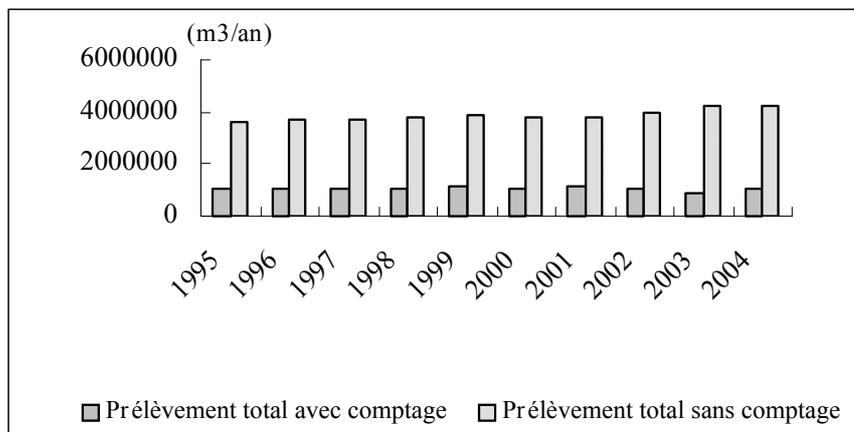
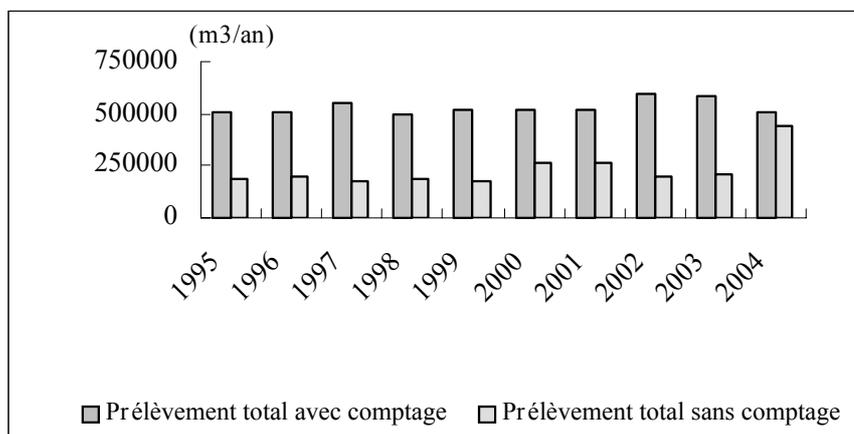


Figure 10 : Prélèvements annuels en eau potable par localité

a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba

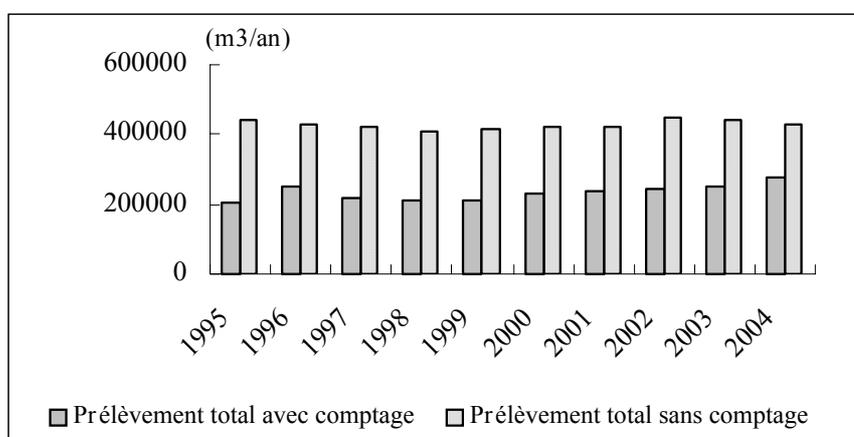


Figure 11: Evolution des prélèvements en eau potable avec et sans comptage

B) Prélèvements individuels moyens

Les prélèvements journaliers moyens par habitant ont sensiblement régressés dans la période (1995 - 2004) (figures 12 et 13). Les prélèvements moyens représentés graphiquement dans la figure 14 montrent que des baisses importantes de ces valeurs sont enregistrées au cours des mêmes périodes. La valeur moyenne de la dotation dans cette région a baissé jusqu'à 44.5 l/j/personne chez les usagers dotés de compteurs et à 35 l/j/personne en forfait. Par ailleurs, les différences entre les productions brutes par habitant et les prélèvements moyens par habitant seront évoquées dans le paragraphe consacré au bilan production – prélèvement.

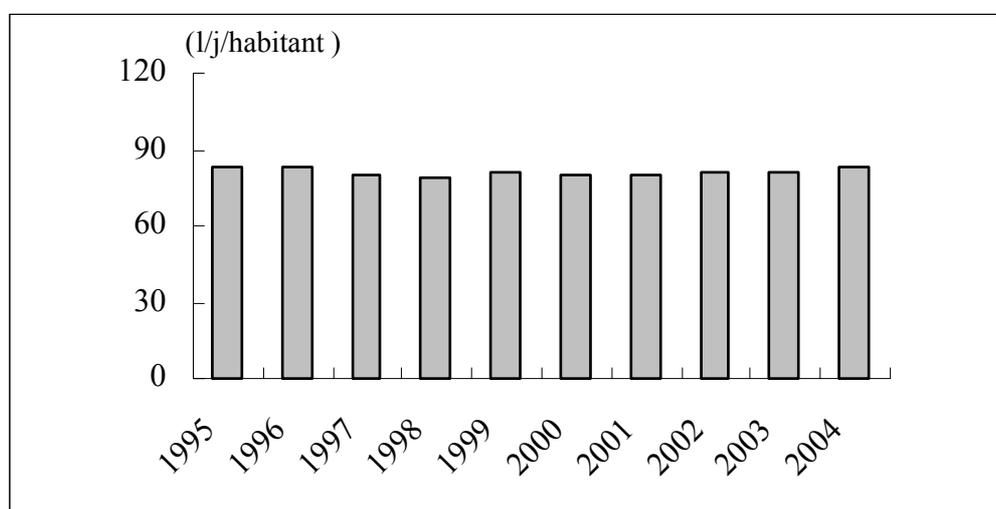


Figure 12: Prélèvements individuels moyens en eau potable dans la région de Biskra

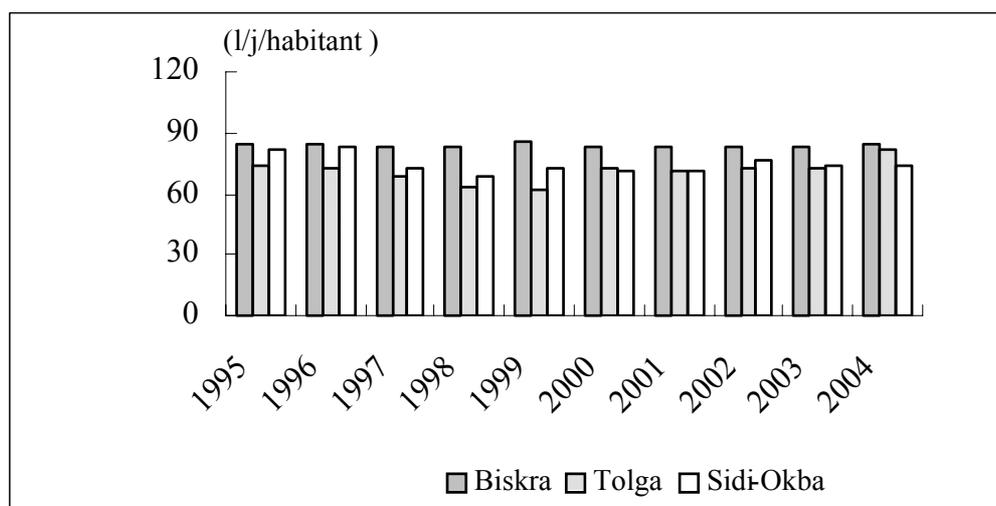
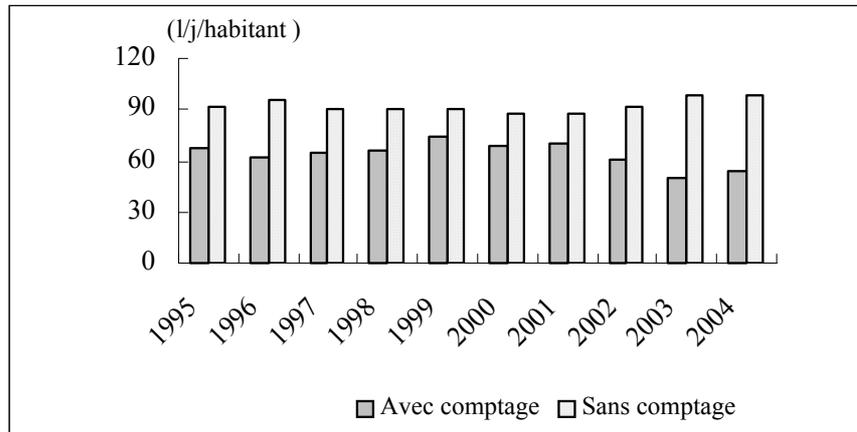
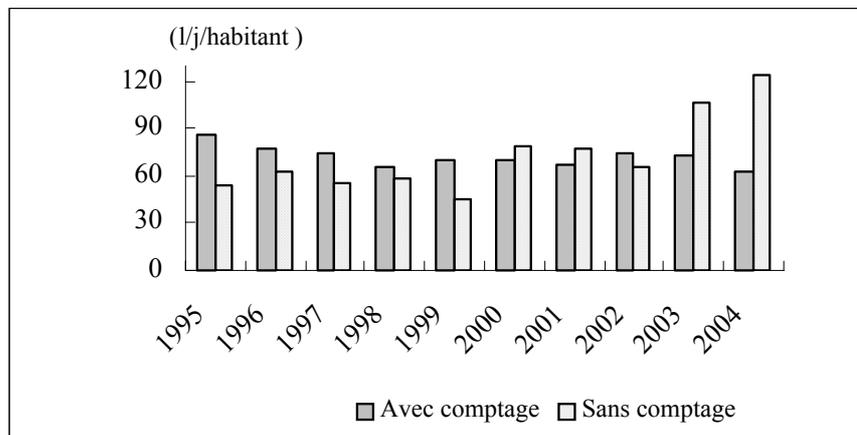


Figure 13: Prélèvements individuels moyens en eau potable par localité

a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba

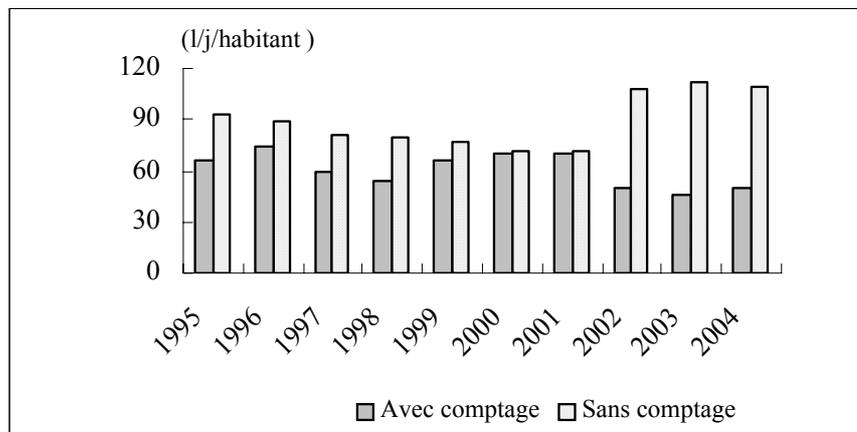


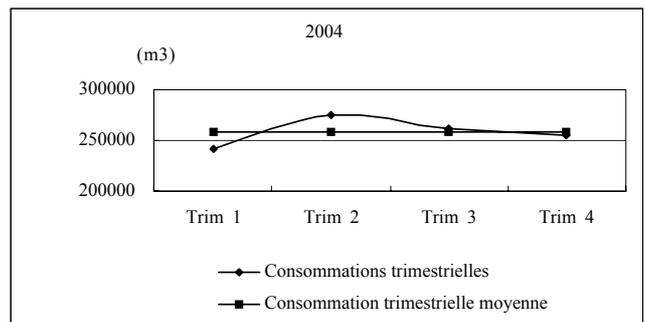
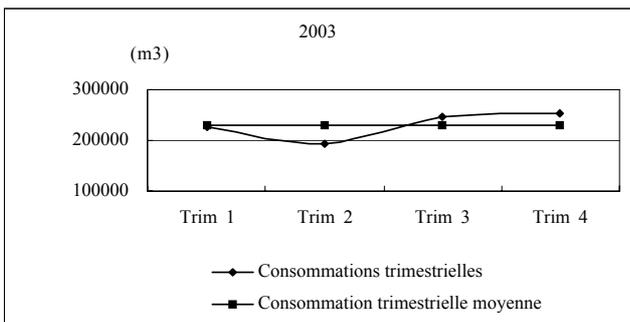
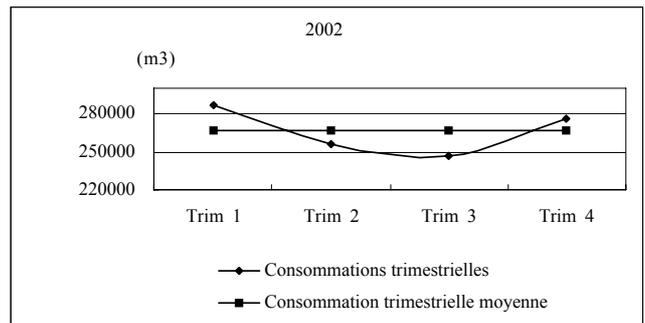
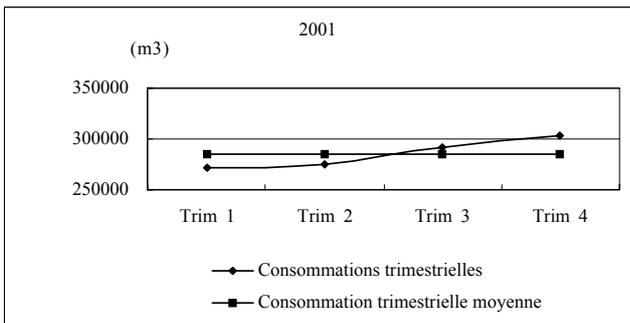
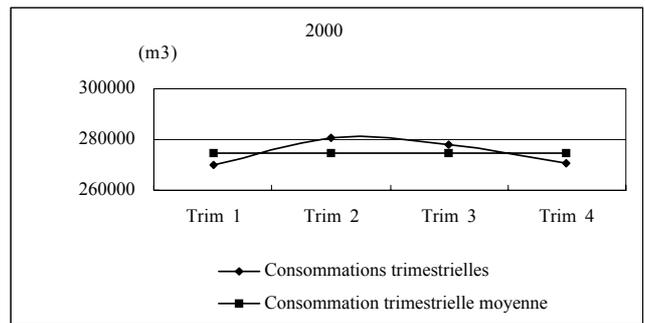
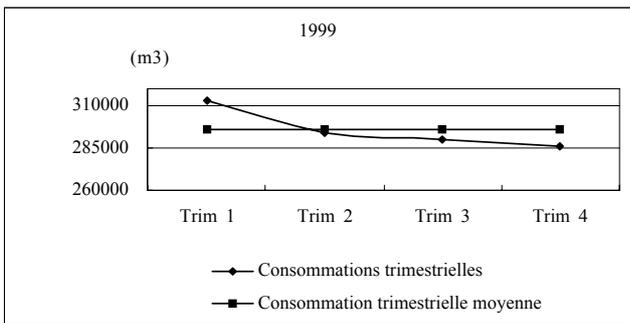
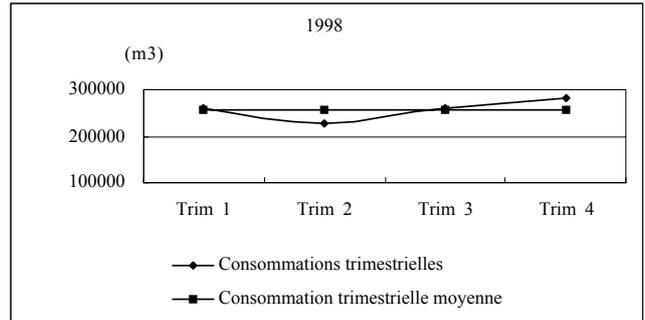
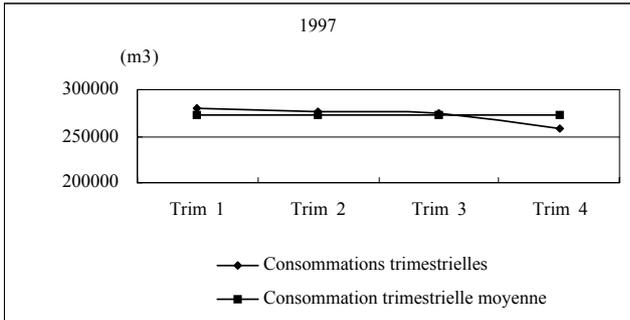
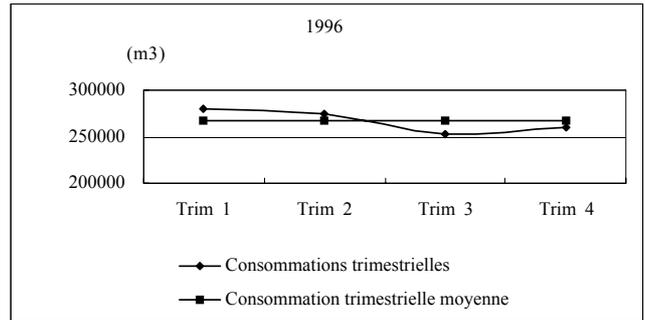
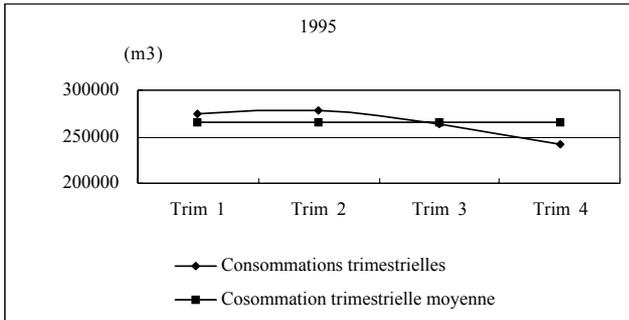
Figure 14: Prélèvements individuels moyens en eau potable avec et sans comptage

C) Variations saisonnières des prélèvements

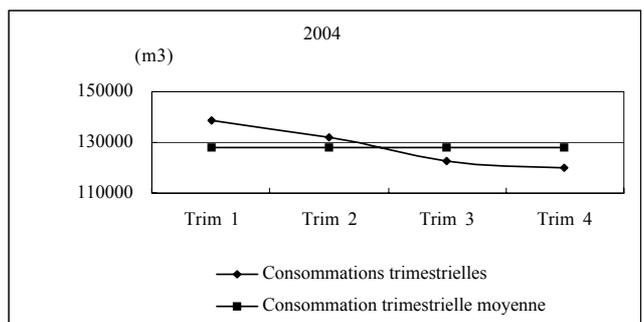
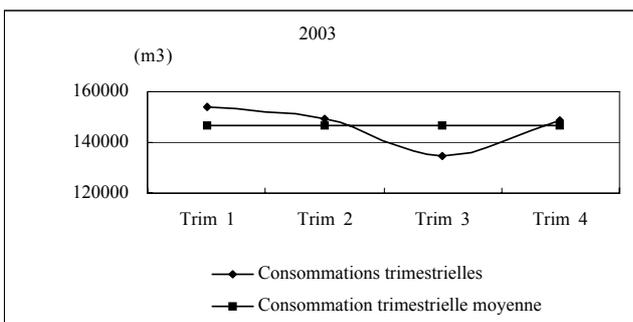
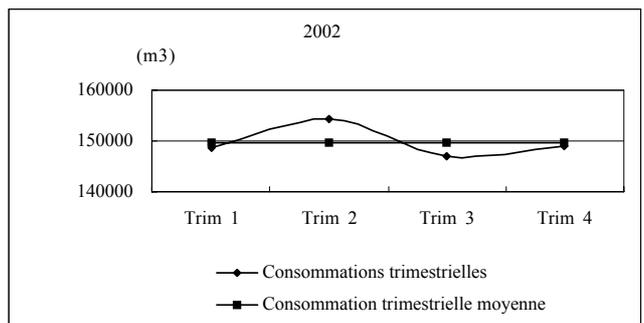
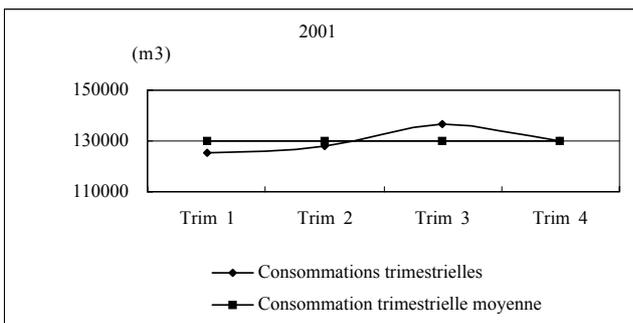
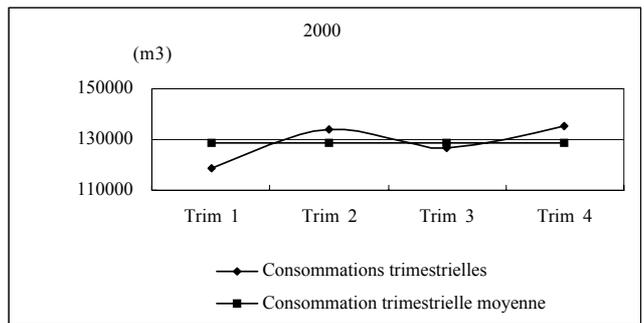
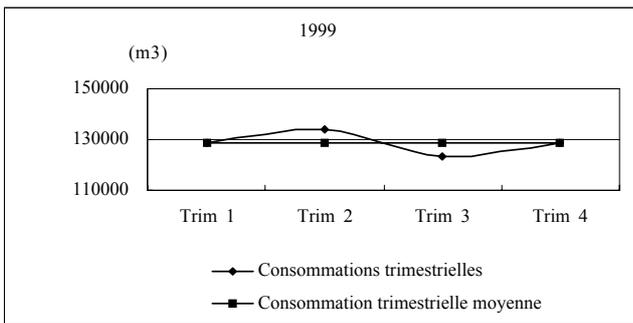
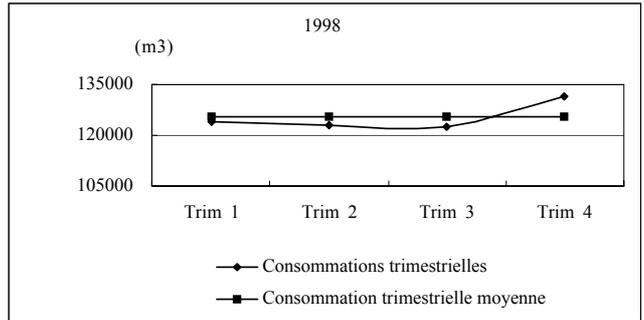
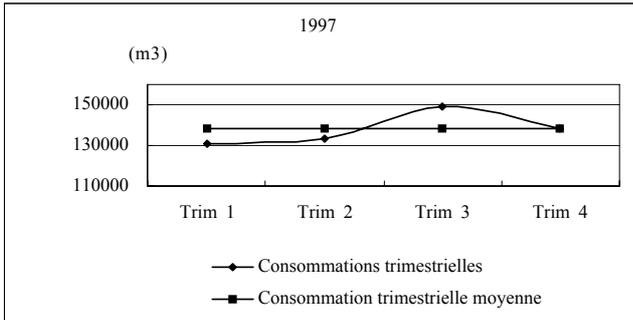
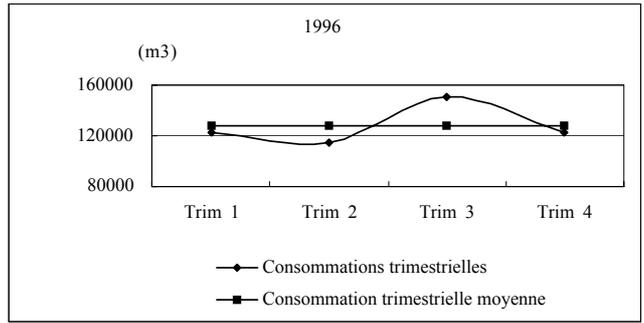
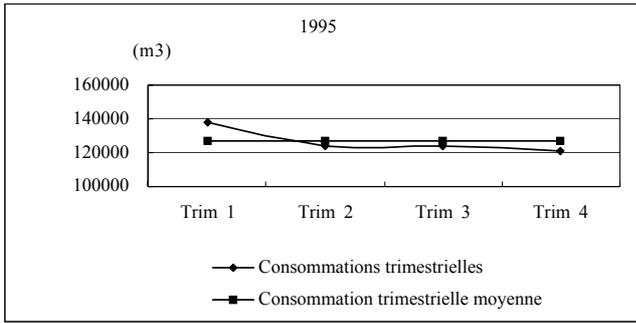
La consommation en eau potable est susceptible de connaître un certain nombre de variations temporelles. En plus des variations annuelles, déjà évoquées, on analysera à présent les variations saisonnières de la consommation en eau sur la base des données recueillies auprès du service des eaux de Biskra.

L'attention particulière donnée à l'analyse de ces variations est motivée par la spécificité aride de cette région qui se caractérise normalement, par des fluctuations importantes des quantités d'eau consommées d'une saison à une autre. Les représentations graphiques des prélèvements totaux pendant les quatre trimestres de chaque année (figures 15) montre que les variations trimestrielles de la consommation domestique au cours de la période 1995-2004 correspondant aux consommations avec compteurs montrent que la consommation dans cette région atteint son maximum au quatrième trimestre alors que le troisième trimestre qui coïncide avec le saison chaude présente des consommations moindres, vraisemblablement en raison d'un départ massif de la population.

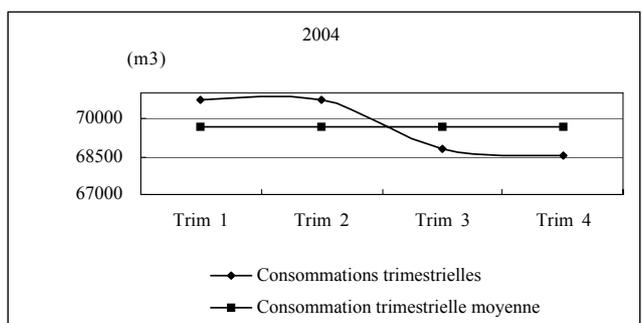
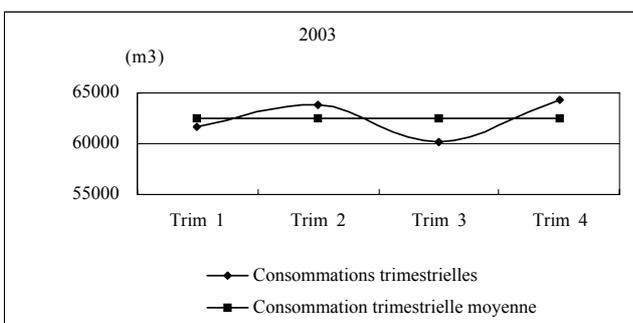
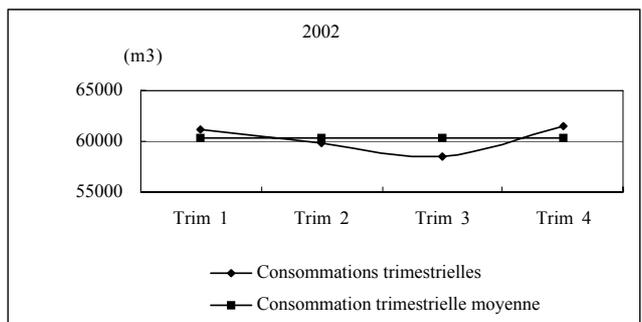
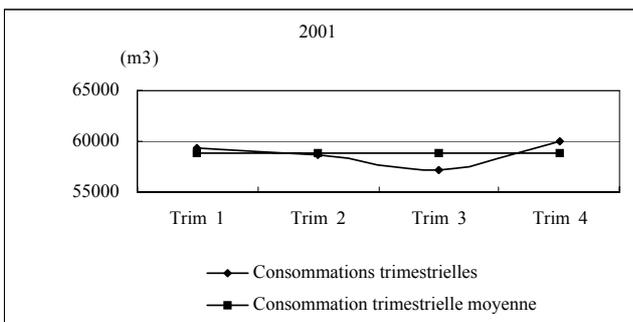
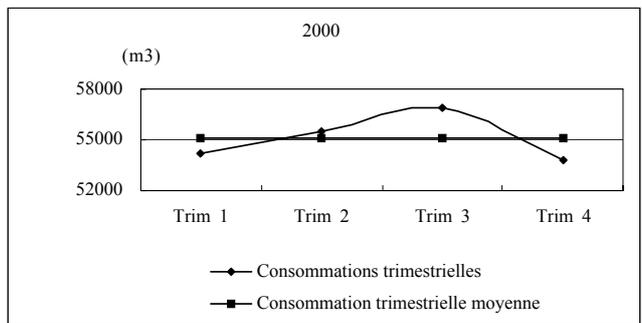
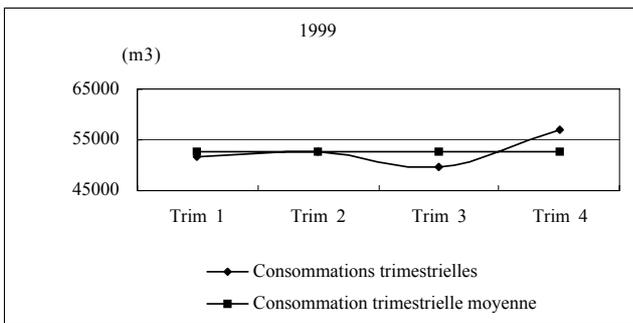
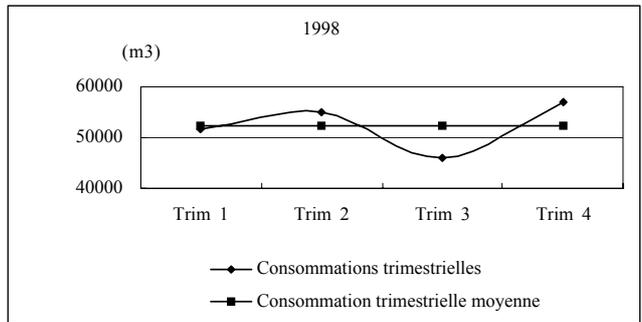
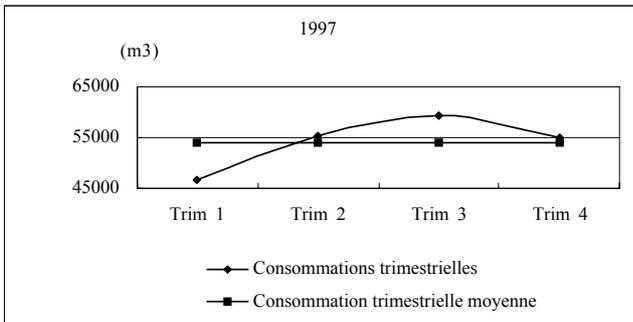
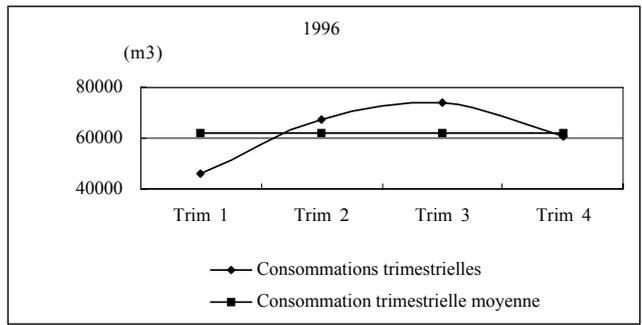
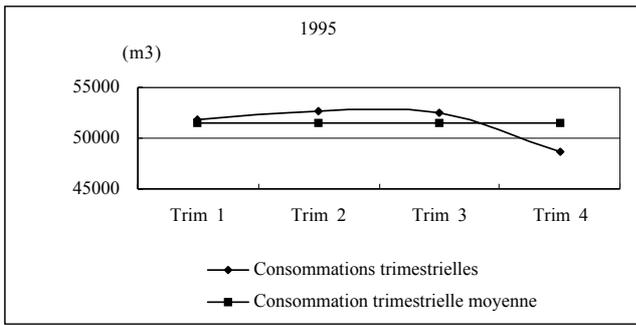
a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba



Figures 15 : Variations saisonnières des prélèvements domestiques en eau avec comptage

Cependant, les variations saisonnières de la consommation domestique sont généralement faibles et leurs modulations par rapport à la moyenne sont comprises entre 0.86 et 1.19. Les coefficients de variations saisonnières des dix dernières années, dans les trois villes concernées apparaissent dans le tableau 14 (Masmoudi et all., 2004 ; Masmoudi et all., 2005):

Tableau 14: Coefficients de variations saisonnières de la consommation domestique en eau

	Trimestre	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Biskra	1	1.04	1.05	1.02	1.01	1.06	0.98	0.95	1.08	0.98	0.94
	2	1.05	1.03	1.02	0.88	0.99	1.02	0.97	0.96	0.84	1.06
	3	0.99	0.95	1.00	1.01	0.98	1.01	1.02	0.93	1.08	1.01
	4	0.91	0.97	0.95	1.10	0.97	0.99	1.06	1.04	1.10	0.99
Tolga	1	1.09	0.96	0.95	0.99	1.00	0.92	0.96	0.99	1.05	1.08
	2	0.98	0.90	0.97	0.98	1.04	1.04	0.99	1.03	1.02	1.03
	3	0.97	1.18	1.08	0.98	0.96	0.98	1.05	0.98	0.92	0.96
	4	0.95	0.96	1.00	1.05	1.00	1.05	1.00	0.99	1.02	0.94
Sidi-Okba	1	1.01	0.74	0.86	0.99	0.98	0.98	1.00	1.02	0.99	1.02
	2	1.02	1.09	1.03	1.05	1.00	1.00	1.00	0.99	1.02	1.01
	3	1.02	1.19	1.10	0.88	0.94	1.03	0.97	0.97	0.96	0.99
	4	0.95	0.98	1.02	1.09	1.08	0.98	1.02	1.02	1.03	0.98

IV.3.1.2 Consommations des commerces et des établissements publics

La consommation commerciale et publique en eau dans la région de Biskra a pratiquement doublé durant la période 1995-2004. Passant de 2942 m³/j en 1995 à 5293 m³/j en 2004, cette augmentation correspond généralement à l'accroissement du nombre de branchements des abonnés. Toutes fois, les valeurs de ces consommations doivent être prises avec précaution

car elles résultent d'une quantification frappée d'incertitudes, notamment chez les abonnés non équipés de compteurs et qui représentent 50% de l'ensemble des abonnés des trois localités.

Le service d'eau propose pour les consommations commerciales et publiques les valeurs indiquées sur les figures 16, 17 et 18:

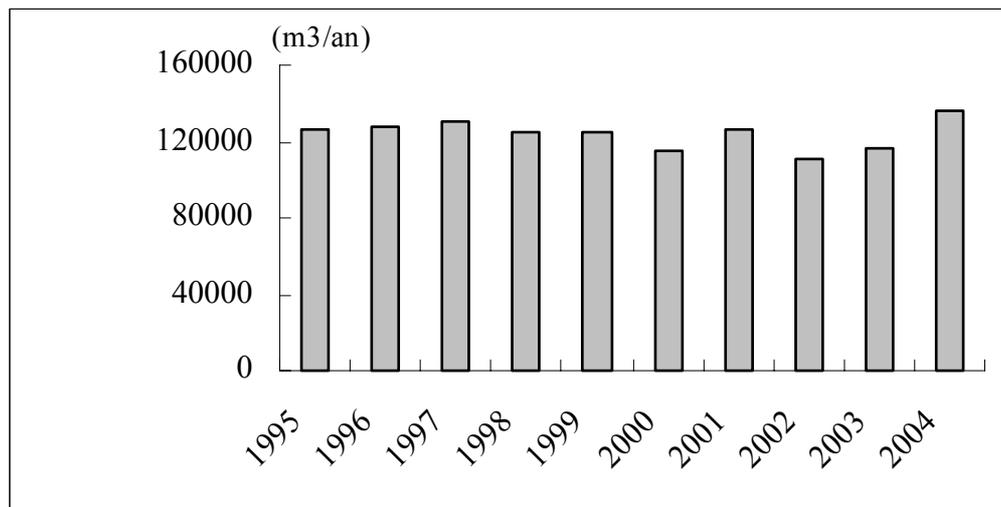


Figure 16 : Evolution des prélèvements annuels en eau des commerces et établissements publics

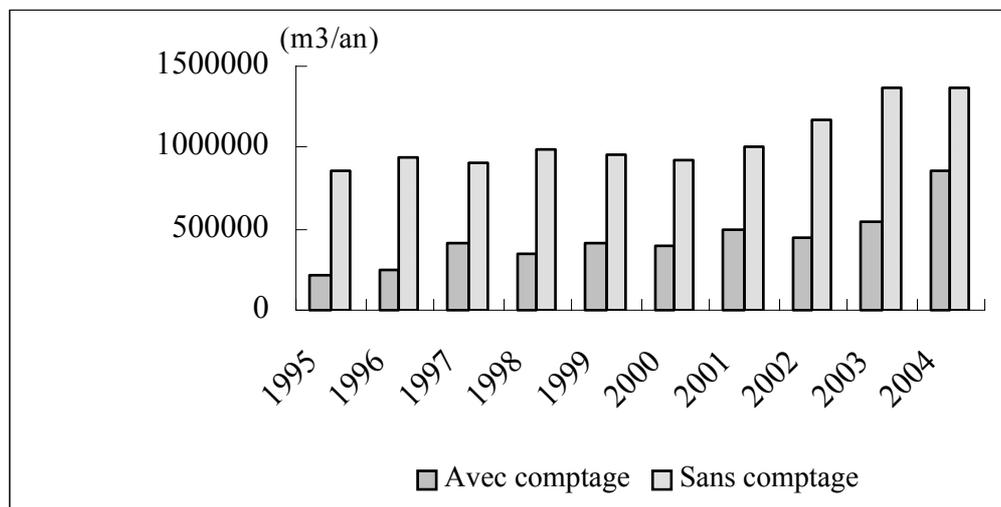
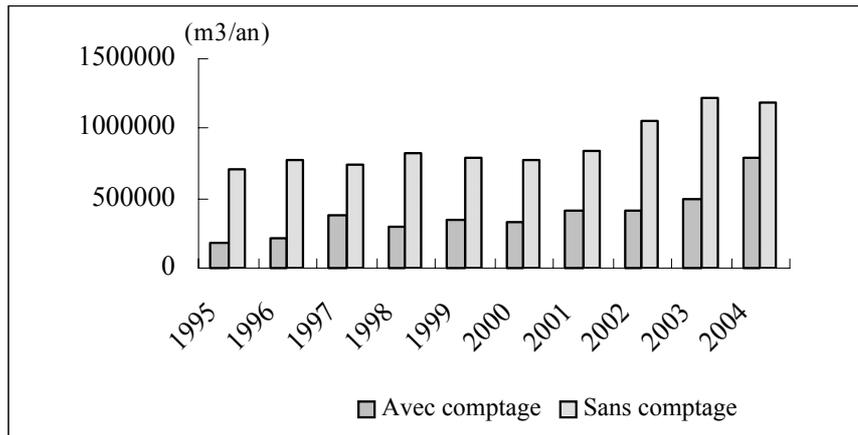
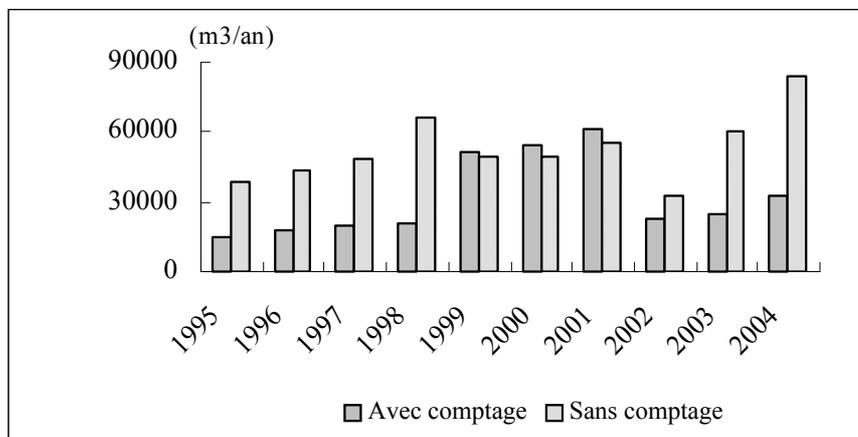


Figure 17 : Prélèvements annuels en eau des commerces et établissements publics avec et sans comptage

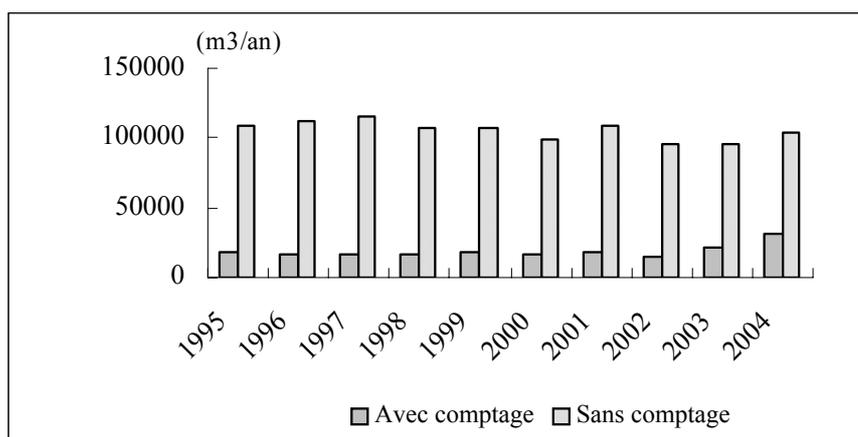
a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba



Figures 18 : Prélèvements annuels en eau des commerces et établissements publics par localité

IV.3.1.3 Consommation industrielle

Seule la ville de Biskra héberge sur son sol des activités industrielles consommatrices d'eau potable. L'approvisionnement de ces industries se fait, généralement à partir de forages implantés à l'enceinte même des unités industrielles. Néanmoins, des raccordements au réseau public de ces industries sont opérés pour, vraisemblablement, assurer les besoins du personnel ainsi que pour le nettoyage et l'arrosage. Les volumes consommés dans les différents établissements industriels de la ville de Biskra sont fournis par le service des eaux et se présentent de la manière suivante :

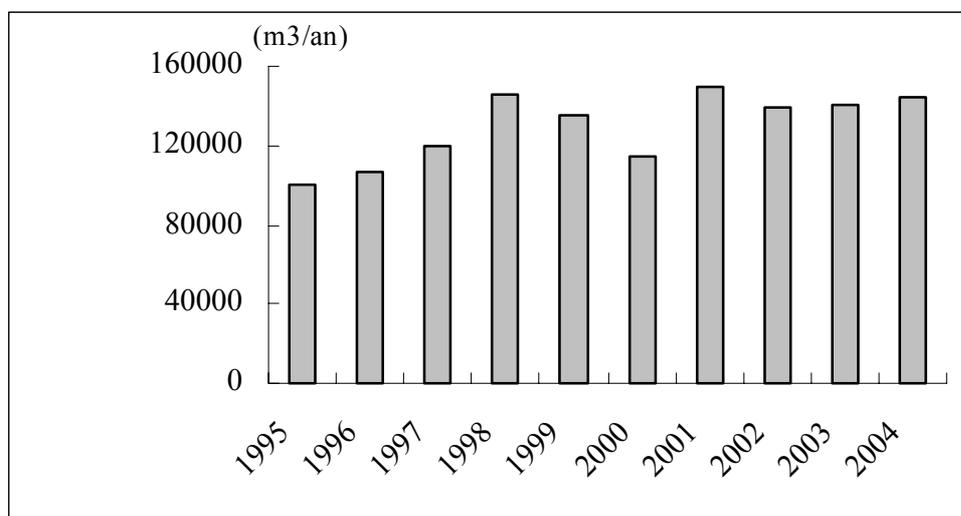


Figure 19 : Evolution de la consommation industrielle totale en eau potable

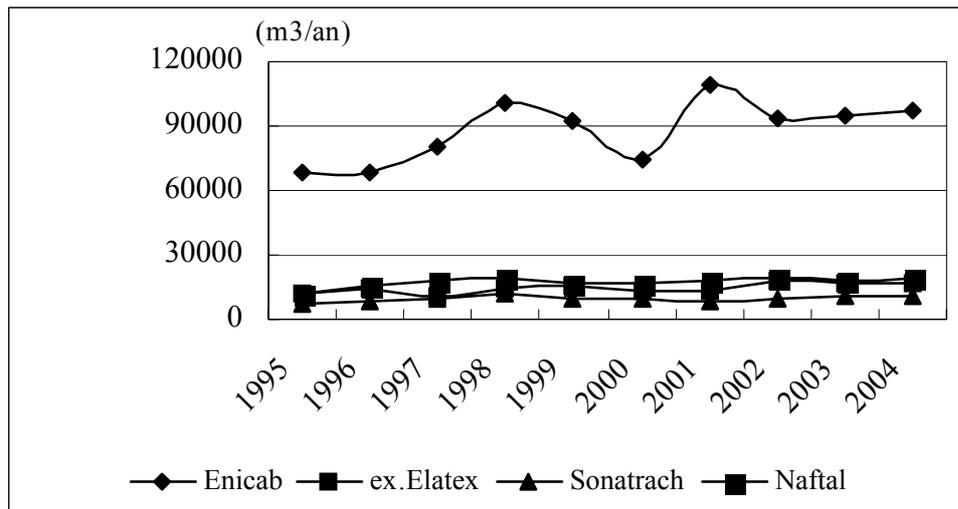


Figure 20 : Evolution des consommations d'eau potable par industrie

IV.3.1.4 Bilan des consommations facturées en eau potable

a) Consommations totales facturées

Il est clair que la quasi-totalité des consommations facturées : domestique, commerciale-publique et industrielle est frappée d'estimations et d'approximations. L'absence du comptage d'eau chez la plupart des usagers de cette région fait que les données sont peu fiables et ne peuvent être considérées comme de bons indicateurs de la consommation. En effet, des mesures de la consommation domestique viendront compléter cette analyse et permettront sans doute, de comparer les résultats obtenus avec les données déjà disponibles.

Dans le tableau 15, on présente le bilan des différentes consommations facturées dans les trois localités principales de la région de Biskra (Masmoudi et all., 2005).

Tableau 15: Bilan des consommations facturées

	Consommations (m ³ /j)	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Biskra	Domestique	12838	13125	13123	13271	13902	13379	13501	13729	14084	14375
	Commerciale- publique	2484	2776	3146	3128	3148	3052	3461	4047	4734	5495
	Industrielle	277	296	333	406	376	318	414	387	389	399
	Totale	15598	16197	16602	16805	17426	16749	17376	18163	19207	20269
Tolga	Domestique	1907	1939	1992	1892	1881	2129	2156	2170	2185	2611
	Commerciale- publique	149	171	189	241	282	288	323	431	236	323
	Industrielle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Totale	2056	2110	2101	2133	2163	2417	2479	2601	2421	2934
Sidi Okba	Domestique	1776	1849	1742	1697	1707	1783	1809	1881	1899	1942
	Commerciale- publique	352	356	363	345	347	320	352	307	325	377
	Industrielle	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Totale	2128	2205	2105	2042	2054	2103	2161	2188	2224	2319

b) Extrapolation de la consommation avec compteurs

Une partie importante de la consommation domestique a été évaluée forfaitairement par l'exploitant, ce qui constitue une démarche peu fiable et comporte trop d'incertitudes. Cependant, on est conduit à mener une extrapolation des consommations facturées par compteurs à toute la population. Il s'agit, concrètement de faire une extrapolation proportionnelle, des volumes consommés par les abonnés équipés de compteurs aux populations correspondantes entières. Cette démarche peut être considérée comme une alternative pour une bonne exploitation des données fournies par le service des eaux.

Cette démarche a conduit aux résultats suivants :

Tableau 16: Extrapolation des consommations domestiques facturées avec compteurs

Année	Ville	Nombre d'abonnés domestiques		Consommation domestique facturée (m ³ /j)	
		Avec compteur	Total	Avec compteur	Extrapolée
1995	Biskra	7235	25208	2889	10066
	Tolga	2696	4280	1391	2208
	Sidi-Okba	1429	3610	564	1425
1996	Biskra	7881	25755	2927	9566
	Tolga	2991	4425	1399	2070
	Sidi-Okba	1519	3705	680	1659
1997	Biskra	7626	26298	2988	10304
	Tolga	3365	4807	1512	2160
	Sidi-Okba	1645	4009	593	1445
1998	Biskra	7132	26514	2823	10495
	Tolga	3502	5004	1373	1962
	Sidi-Okba	1767	4115	575	1339
1999	Biskra	7292	26909	3241	11960
	Tolga	3340	5059	1412	2139
	Sidi-Okba	1473	3908	578	1533
2000	Biskra	7324	27019	3013	11115
	Tolga	335	4908	1411	2046
	Sidi-Okba	1492	4202	631	1777
2001	Biskra	7445	27235	3126	11435
	Tolga	3497	5069	1425	2066
	Sidi-Okba	1544	4268	644	1780
2002	Biskra	7969	27516	2915	10065
	Tolga	3665	5019	1641	2247
	Sidi-Okba	2195	4083	660	1262
2003	Biskra	8457	28122	2523	8390
	Tolga	3702	5041	1608	2190
	Sidi-Okba	2494	4303	685	1182
2004	Biskra	8703	28316	2826	9195
	Tolga	3701	5326	1405	2022
	Sidi-Okba	2541	4349	764	1308

IV.3.2. Analyse des consommations mesurées : approche par panel

Les campagnes de mesures engagées à travers les trois agglomérations ont été consacrées à :

- la quantification des volumes consommés
- la détermination de la variation temporelle de la consommation

La démarche adoptée consiste, dans un premier temps, à mesurer la consommation toutes les 24 heures pendant sept jours de la semaine d'un panel de 147 abonnés à Biskra, 68 à Tolga et 44 à Sidi-Okba. Dans un second temps, des relevés des compteurs ont été effectués le long d'une journée suivant un découpage de cette dernière en tranches horaires (07h – 10h, 10h – 13h, 13h – 20h, 20h – 07h). Ce découpage a été adopté pour des raisons pratiques, du fait que la plupart des compteurs se trouvent à l'intérieur des habitations dont l'accès à des heures tardives de la nuit n'était pas possible.

Ces campagnes ont été réalisées au cours de la période Septembre – Novembre 2002, chez les abonnés ayant de l'eau potable en continuité et qui sont dotés de compteurs non défectueux. Ces deux conditions, considérées comme indispensables pour la fiabilité des résultats, ont constitué une contrainte majeure dans le choix de la taille et la dispersion de l'échantillon, notamment en raison de la discontinuité quasi-générale de la desserte en eau. Pour une meilleure représentativité, la constitution des échantillons a pris en compte les différents types d'habitation existants dans la région (tableau 17). Il est à noter que la quasi totalité des appartements a trois pièces principales.

Tableau 17: Tailles et constitutions des échantillons d'abonnés analysés

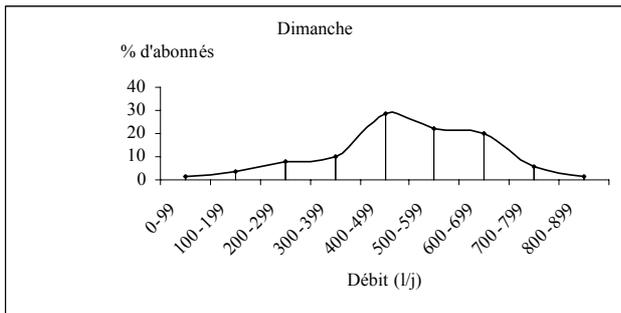
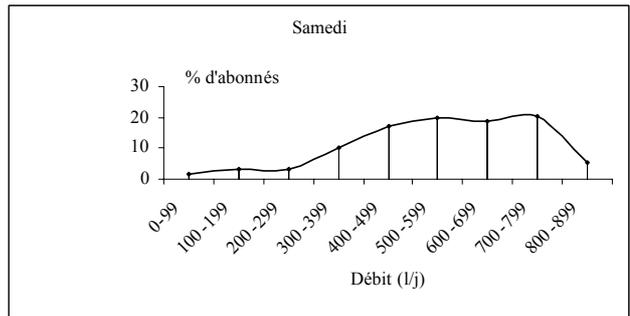
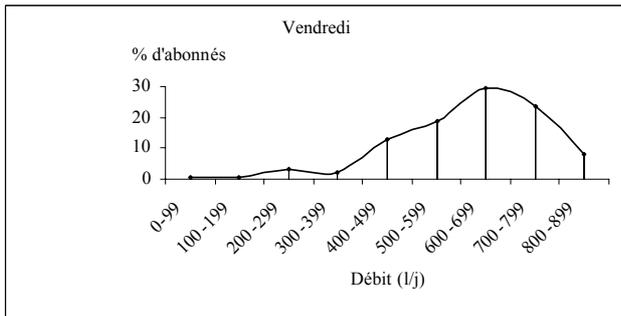
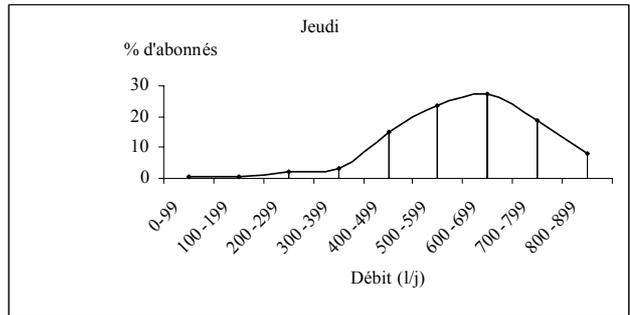
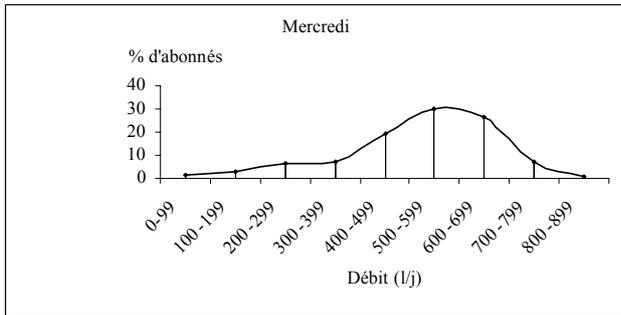
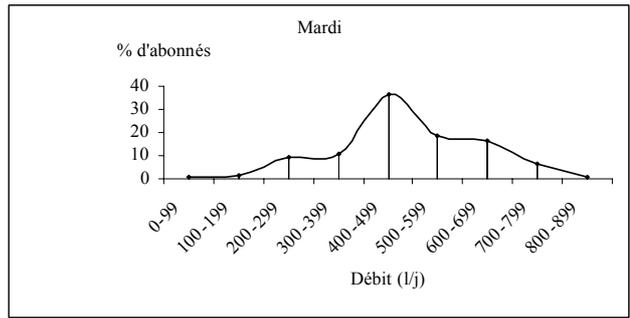
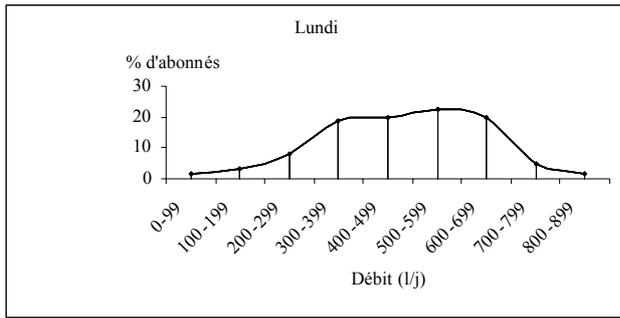
Ville	Taille de l'échantillon	Habitation constituant l'échantillon		
		Maison à un niveau	Maison à deux niveau	Appartement
Biskra	147	41	16	90
Tolga	68	06	26	36
Sidi Okba	44	04	11	29

IV.3.2.1. Consommations domestiques journalières

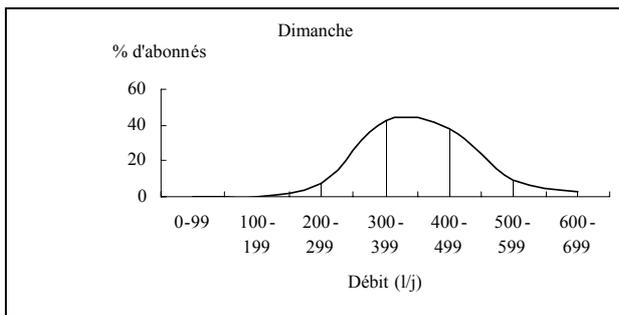
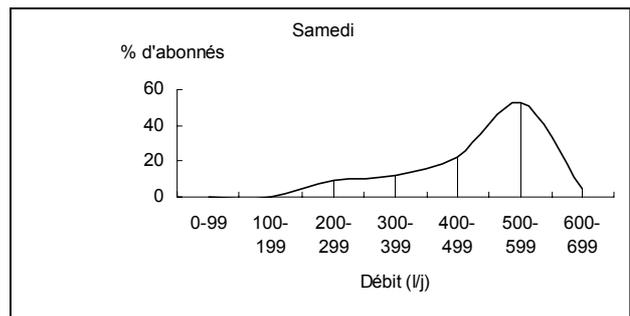
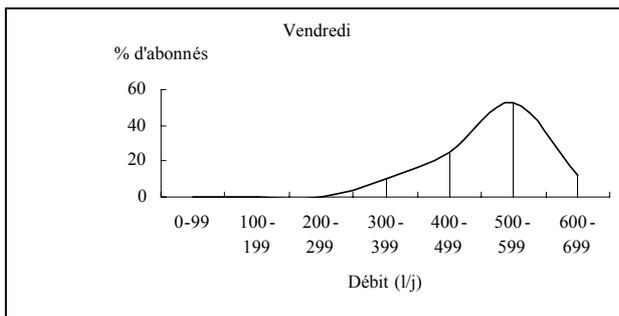
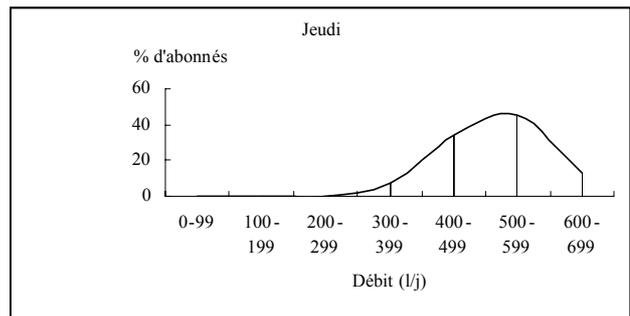
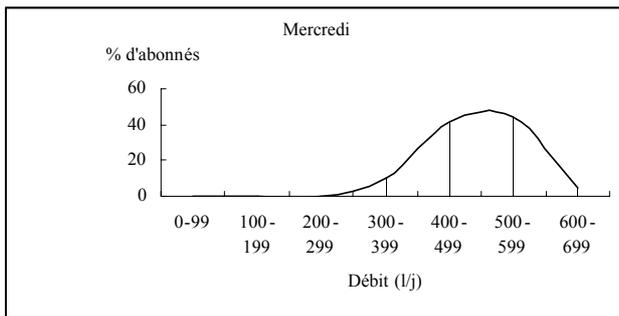
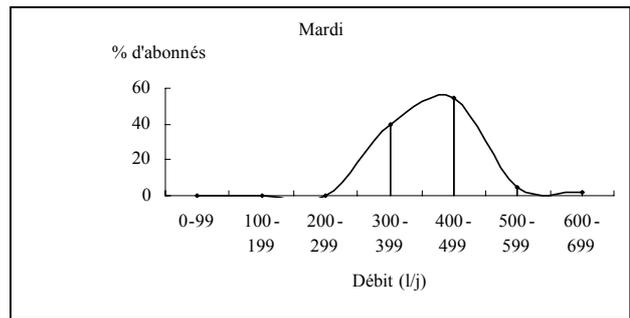
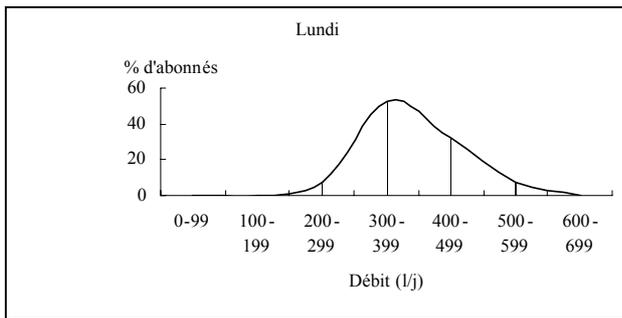
L'analyse des mesures réalisées a montré que les demandes domestiques journalières par abonné, dans cette région aride varient dans une gamme très étendue : allant de moins de 65 à plus de 865 l/j/abonné.

Les représentations graphiques des consommations journalières de sept jours (figures 21), montrent la dispersion assez grande des débits journaliers de la consommation chez les abonnés de Biskra et que les débits de consommation les plus fréquents se situent entre 500 et 600 litres par jour et par abonné.

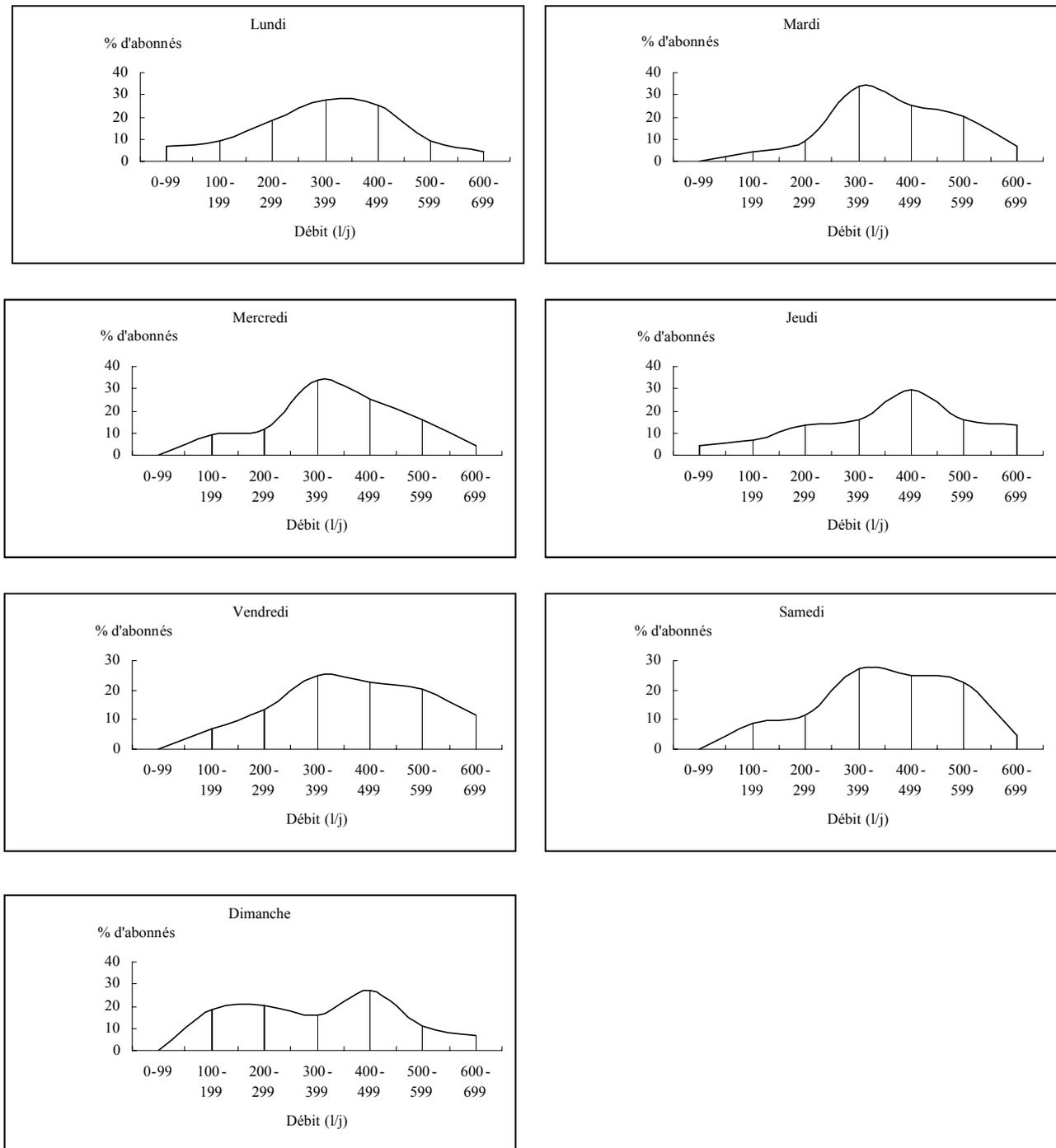
a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-kba



Figures 21 : Courbes de fréquences des consommations domestiques journalières mesurées

De grandes disparités caractérisent les consommations domestiques ramenées à l'abonné dans cette région aride dotée d'un système public d'alimentation en eau potable. L'interprétation et l'analyse complète de cette répartition s'avère difficile car les études techniques et sociologiques font actuellement défaut. Les habitudes de consommation et le taux

d'équipement en appareils de lavage et sanitaires sont des facteurs d'explication importants de la dispersion des consommations d'eau par abonné.

Il n'en reste pas moins que la fourchette des consommations s'étend de 11 à 144 litres par jour et par habitant et qu'il conviendrait d'étudier si ces extrêmes constituent ou non une tendance ou un objectif pour les autres agglomérations. Les valeurs moyennes journalières de la consommation restent comprises entre 372 et 605 litres par jour et par abonné.

Les valeurs retenues de consommations journalières par abonnés domestiques sont les suivantes (tableau 18):

Tableau 18 : consommations journalières mesurées par type d'habitation

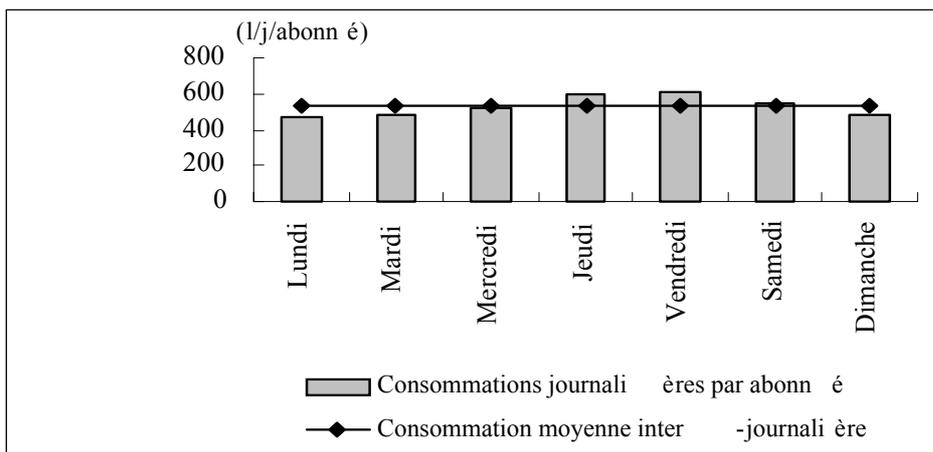
Ville	Consommations domestiques par abonné (l/j/abonné)		
	Maison 1 niveau	Maison 2 niveaux	Appartements
Biskra	668	383	496
Tolga	382	351	558
Sidi Okba	259	294	462

IV.3.2.2. Variations journalières de la consommation domestique

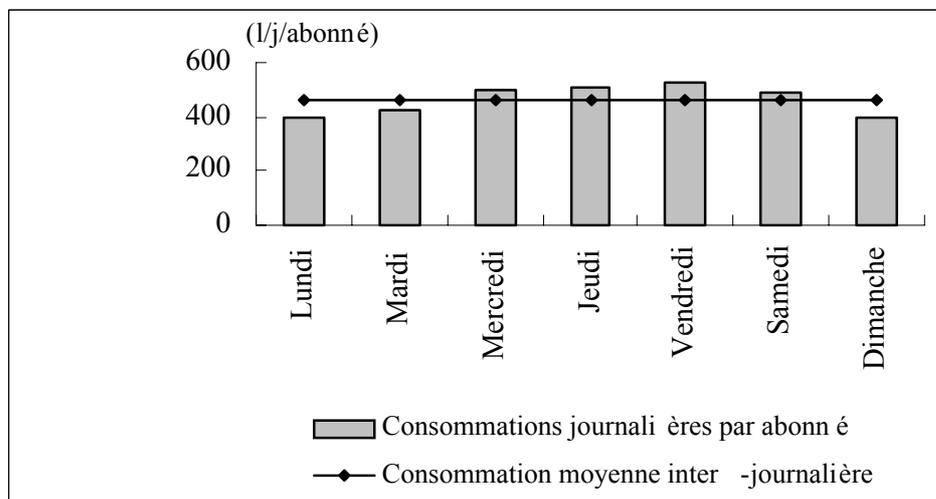
Les consommations journalières moyennes, mesurées le long d'une semaine pour les trois agglomérations de la région (figures 22) se situent entre : 372 et 605 l/j/abonné.

Les variations journalières autour des consommations moyennes inter-journalières sont assez faibles et les coefficients de ces variations déduits sont portés au tableau 6.

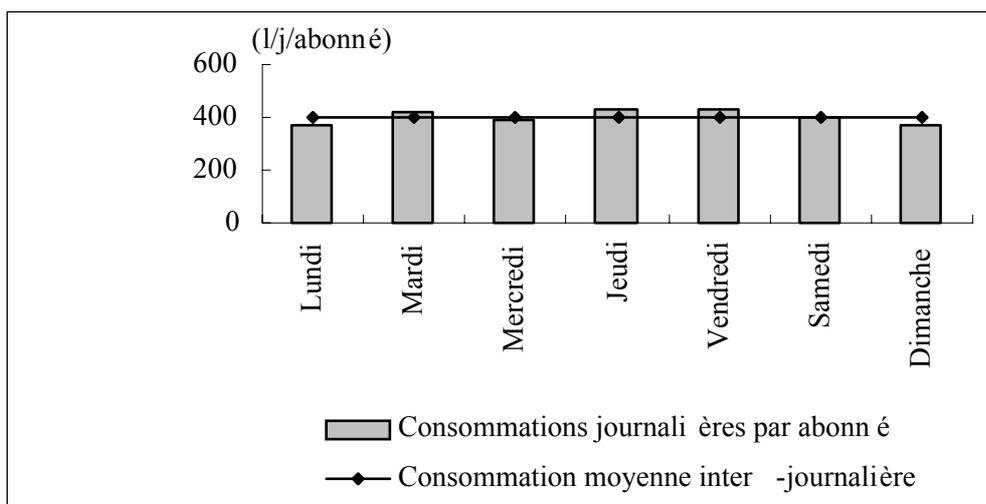
a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba



Figures 22 : Répartition inter journalière de la consommation mesurée en eau potable

Les variations de la consommation journalière sont généralement faibles et leurs modulations par rapport à la moyenne sont comprises entre 0.86 et 1.14 (tableau 19).

Tableau 19: Coefficients de variations journalières de la consommation domestique en eau

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Biskra	0.89	0.91	0.97	1.13	1.14	1.03	0.92
Tolga	0.86	0.91	1.08	1.10	1.13	1.05	0.86
Sidi Okba	0.93	1.06	0.96	1.08	1.07	0.99	0.92

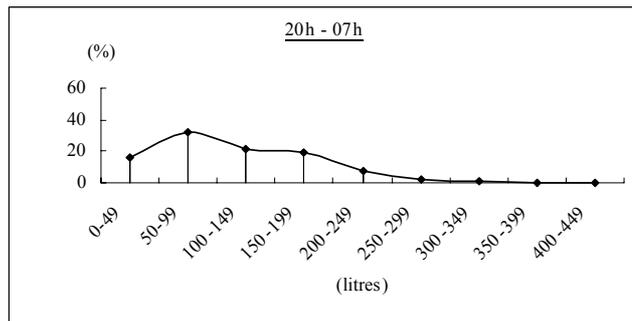
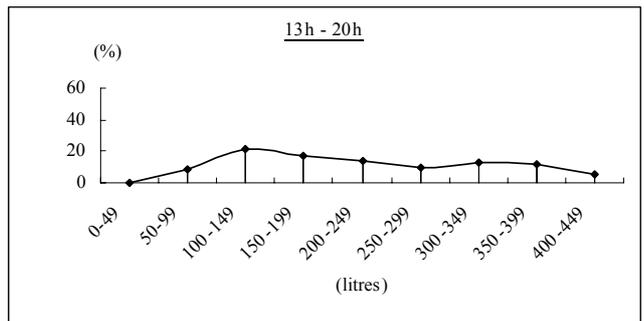
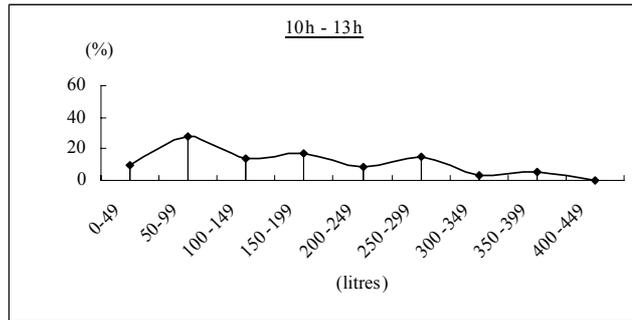
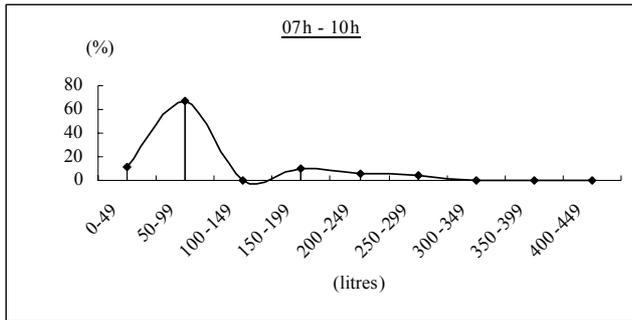
Les valeurs des facteurs de pointe journaliers se situent donc entre 1.08 et 1.14. ils constituent un véritable outil d'évaluation des besoins en eau potable pour les futurs aménagements dans cette région.

IV.3.2.3. Consommations horaires

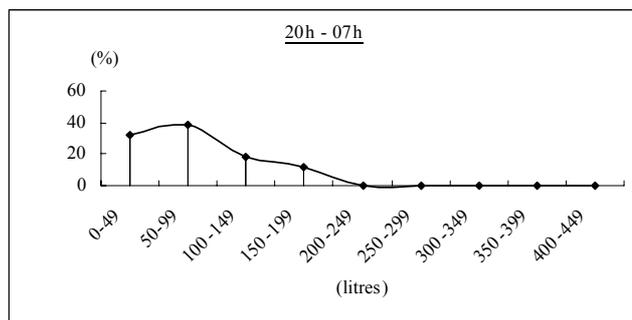
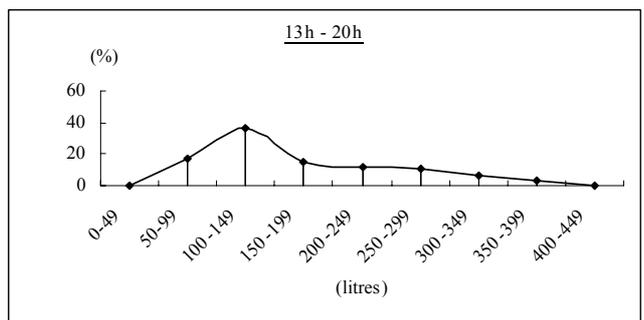
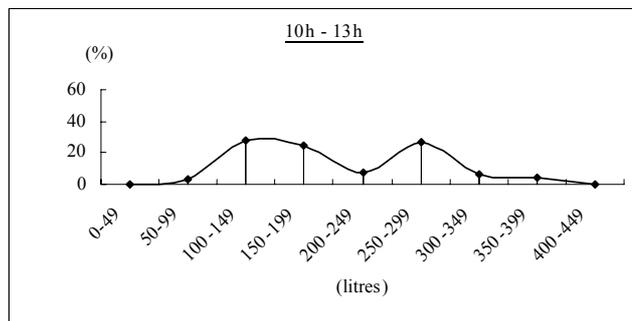
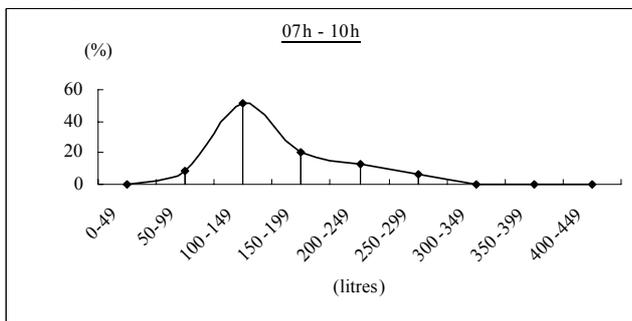
La détermination des courbes de variations horaires de la consommation en eau était parmi les objectifs principaux de ce chapitre. La connaissance de la répartition des besoins des populations le long de la journée implique la définition des périodes et des coefficients de pointe de la consommation et permet de calculer les débits de dimensionnement des installations de distribution et de stockage. Les coefficients de variations et les facteurs de pointe horaires revêtent d'une importance particulière dans les calculs hydrauliques des systèmes d'alimentation en eau potable.

Les représentations graphiques de la consommation par tranche d'heures par rapport au pourcentage du panel d'abonnés (figures 23) montrent que les débits horaires les plus fréquemment consommés pendant une journée sont compris entre 300 et 600 l/j/abonné à Biskra et entre 600 et 900 l/j/abonné à Tolga et Sidi-Okba.

a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba

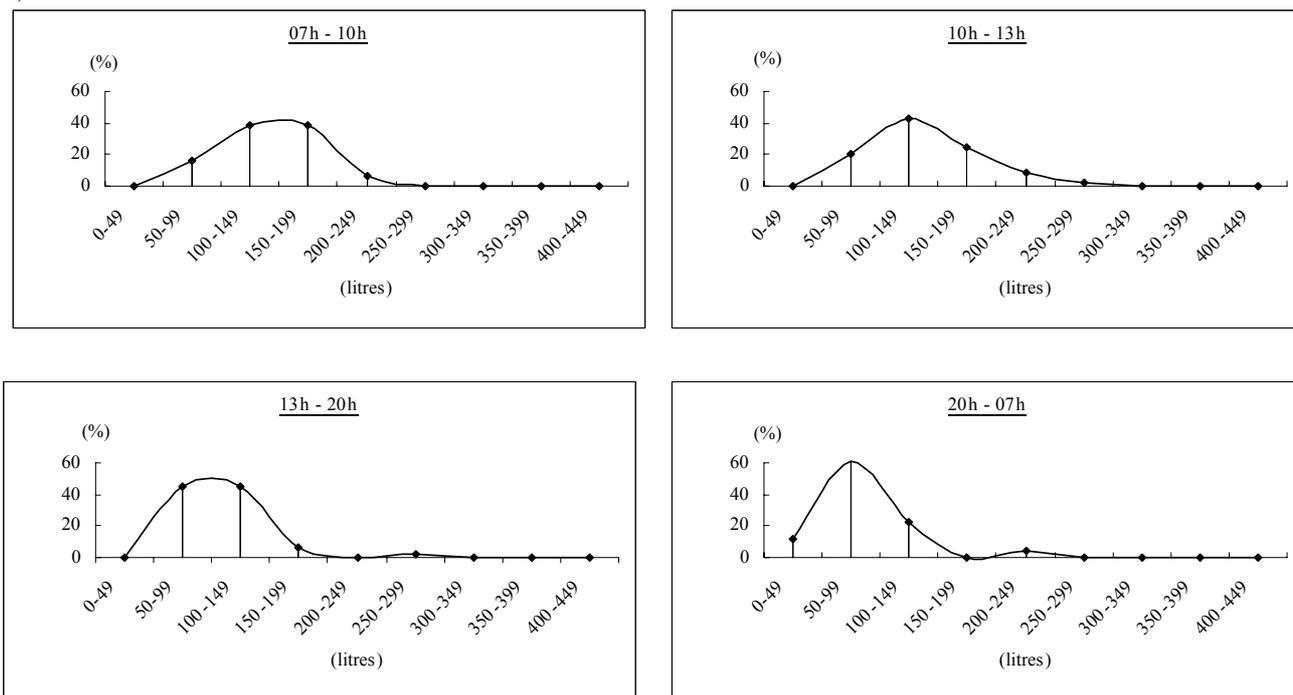
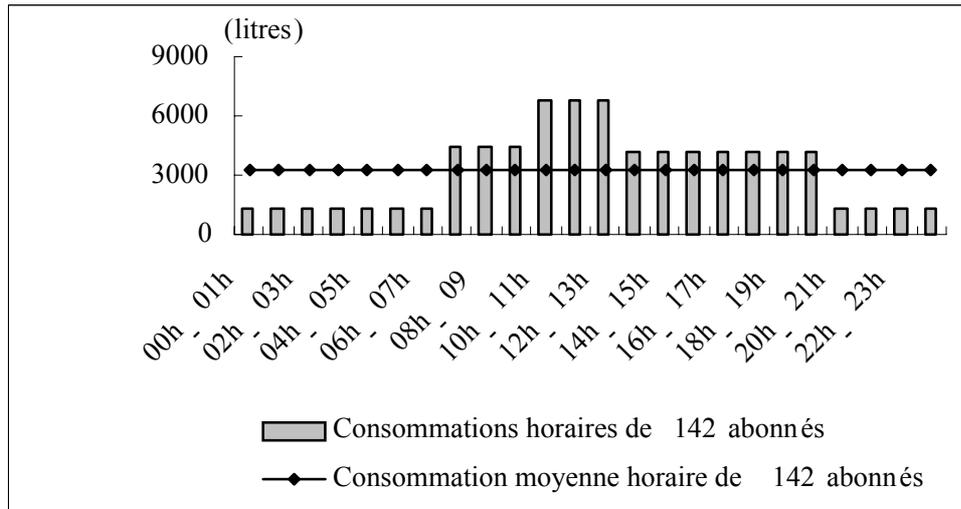


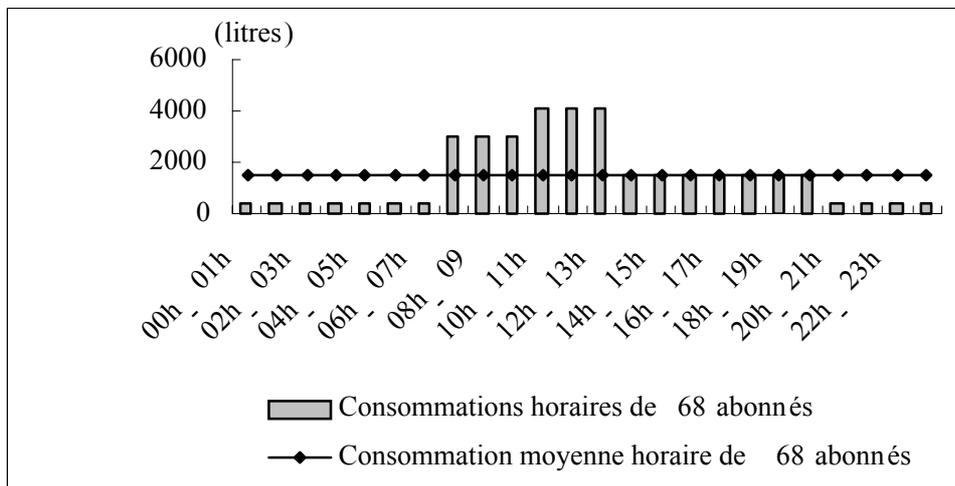
Figure 23 : Courbes de fréquences de la consommation horaire domestique mesurée

Par ailleurs, les graphiques des figures 24 montrent entre autre que les tranches d'heures de pointe dans la journée sont presque identiques dans les trois localités, ce qui indique, sans doute, l'absence d'un effet majeur de la grandeur de l'agglomération sur la détermination des moments de pointe.

a) Biskra



b) Tolga



c) Sidi-Okba

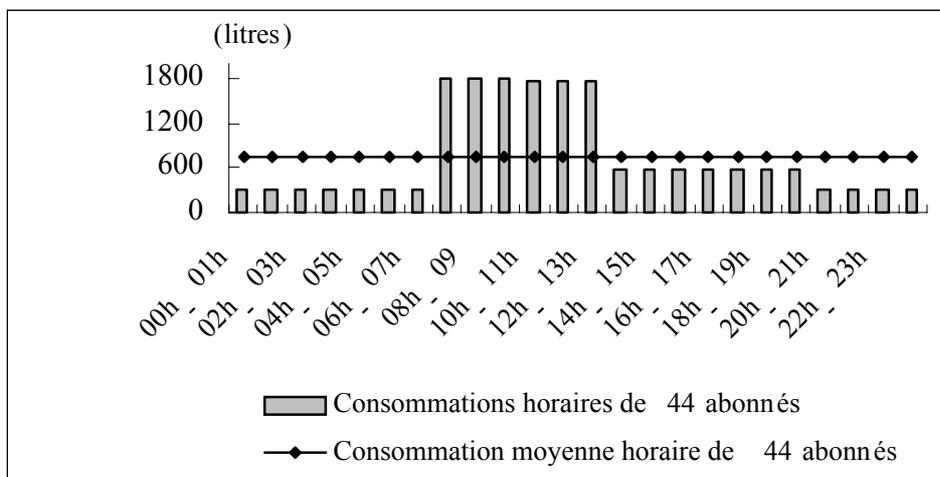


Figure 24 : Variations horaires de la consommation domestique mesurée en eau potable

Les variations horaires sont déterminées pour les trois agglomérations testées suivant le même découpage horaire et les facteurs de pointe horaires sont compris entre 2.10 et 2.74. Le tableau 20 rassemble toutes les valeurs des coefficients de variations horaires des villes de Biskra, Tolga et Sidi-Okba.

Tableau 20: Coefficients de variations horaires de la consommation domestique en eau

	00 h – 07 h	07 h – 10 h	10 h – 13 h	13 h – 20 h	20 h – 24 h
Biskra	0.40	1.40	2.10	1.30	0.40
Tolga	0.28	1.97	2.74	0.97	0.28
Sidi-Okba	0.39	2.4	2.35	0.78	0.39

Les coefficients de pointe des consommations domestiques en eau potable calculés par le produit du facteur de variations journalières et le facteur de variations horaires d'une agglomération sont respectivement : 2.39, 3.09 et 2.54 à Biskra, Tolga et Sidi-Okba.

IV.3.2.4. Extrapolation des mesures

La campagne s'étant déroulée au troisième trimestre, l'extrapolation des mesures à partir du panel s'est faite sans prendre en compte une modulation temporelle en raison de la variation annuelle constatée (cf. paragraphe IV.3.1.1).

Par ailleurs, l'extrapolation a été conduite à partir des moyennes observées et présentées au tableau 18 en considérant les répartitions des types d'habitation dans l'échantillon (tableau 17) et dans la totalité des villes : tableau 21

Tableau 21: Répartition des types d'habitation dans les trois villes

Ville	<u>Nombre d'abonnés</u>			Total
	Maison 1 niveau	Maison 2 niveaux	Appartements	
Biskra	3019	15569	9728	28316
Tolga	1895	2522	909	5326
Sidi Okba	1968	1952	429	4349

Cette méthode conduit aux consommations estimées suivantes :

Tableau 22: Valeurs extrapolées des consommations domestiques mesurées

Ville	Nombre total d'abonnés	Consommation domestique (m ³ /j)
Biskra	28316	12805
Tolga	5326	2116
Sidi Okba	4349	1252

IV.3.3. Bilan des différentes approches de quantification

La comparaison des résultats des trois approches d'évaluation de la consommation domestique pour l'année 2004 conduit à dresser le bilan suivant :

Tableau 23: Etat comparatif des volumes d'eau consommés

Approche de quantification	Volumes journaliers (m ³)		
	Biskra	Tolga	Sidi-Okba
Consommations domestiques facturées	14375	2611	1942
Extrapolations des consommations domestiques avec comptage	9195	2022	1308
Extrapolations des consommations domestiques mesurées	12805	2116	1252

Les valeurs de la consommation facturée en eau potable dans cette région sont nettement supérieures à celles de la consommation mesurée et de la consommation extrapolée à partir des consommations avec compteurs dans toutes les trois localités testées (tableau 23). Les volumes de consommations facturées semblent être des grandeurs qu'il faut prendre avec précaution. L'incertitude avec laquelle ces volumes sont déterminés est due essentiellement à la quantification forfaitaire appliquée aux abonnés qui n'ont pas de compteurs.

En outre, les volumes consommés avec comptage sont moins importants que les consommations mesurées à cause, vraisemblablement des interruptions de service que

connaissent les réseaux de distribution. Les résultats des mesures présentent délibérément une meilleure fiabilité puisqu'il s'agit d'une quantification qui a tenu compte des conditions de la disponibilité d'eau et de la continuité de la desserte.

IV.4. Ressources d'eau potable à Biskra

Les eaux souterraines représentent la ressource principale en eau potable dans cette région du sud algérien qui comporte les villes de Biskra, Tolga et Sidi-Okba. Les aquifères constituant la ressource souterraine dans cette région sont généralement : les nappes du quaternaire, des sables mio-pliocène, des sables du Pontien, des calcaires de l'éocène inférieur, des calcaires du sénonien et des grès du continentale intercalaire. Les rabattements des niveaux des deux nappes les plus sollicitées en 2000 est de 50 mètres pour la formation mio-pliocène et de 30 mètres pour la formation de l'éocène inférieur (ANAT, 2003 ; Kettab, 2002). Environ 55 forages de moyennes et grandes profondeurs (entre 150 et 800 m) ont été réalisés pour l'alimentation en eau potable des populations de cette région. Les volumes d'eau produits sont soit refoulés vers les réservoirs de stockage, soit injectés directement dans les différents réseaux de distribution. La plus grande partie des quantités d'eau produites, estimées en 2004 à 49589 m³/j à Biskra, 8393 m³/j à Tolga et 5377 m³/j à Sidi-Okba est destinée à la population (figures 25,26), 400 m³ par jour seulement sont réservés à l'industrie. La plupart des usagers des trois localités souffrent toujours des problèmes de l'interruption du service d'eau ainsi que de l'insuffisance des débits et des pressions assurées (Masmoudi et all., 2005 ; Kettab et all., 2006).

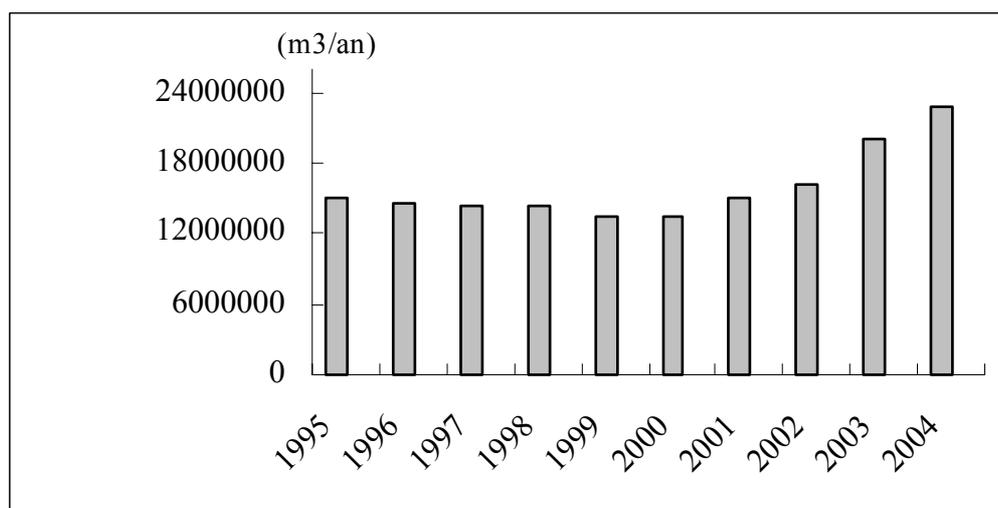


Figure 25 : Production annuelle totale d'eau potable dans la région de Biskra

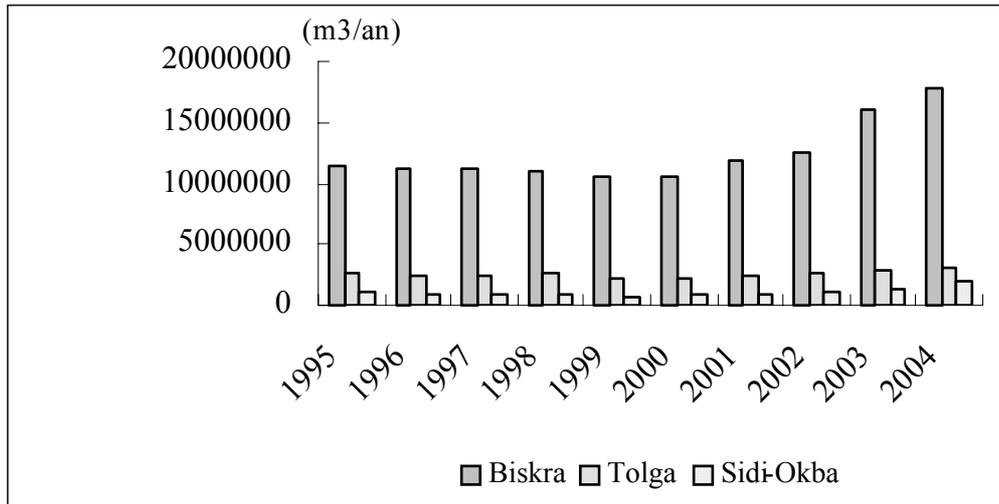


Figure 26 : Productions annuelles d'eau potable par localité

IV.4.1. Productions brutes par habitant

Comme le montre la figure 27, la production brute par habitant (rapport du volume produit sur le nombre d'habitants), en 2004 s'élèvent à 292, 263 et 206 l/j/habitant respectivement à Biskra, Tolga et Sidi-Okba alors qu'elle était de 209, 285 et 133 en 1995 : l'évolution quantitative de la production totale en eau à Biskra et Sidi-Okba au cours de la période 1995 - 2004 a suivi l'accroissement du nombre d'abonnés, alors qu'à Tolga, les volumes d'eau produits sont jugés assez faibles pour répondre aux besoins croissants de la population.

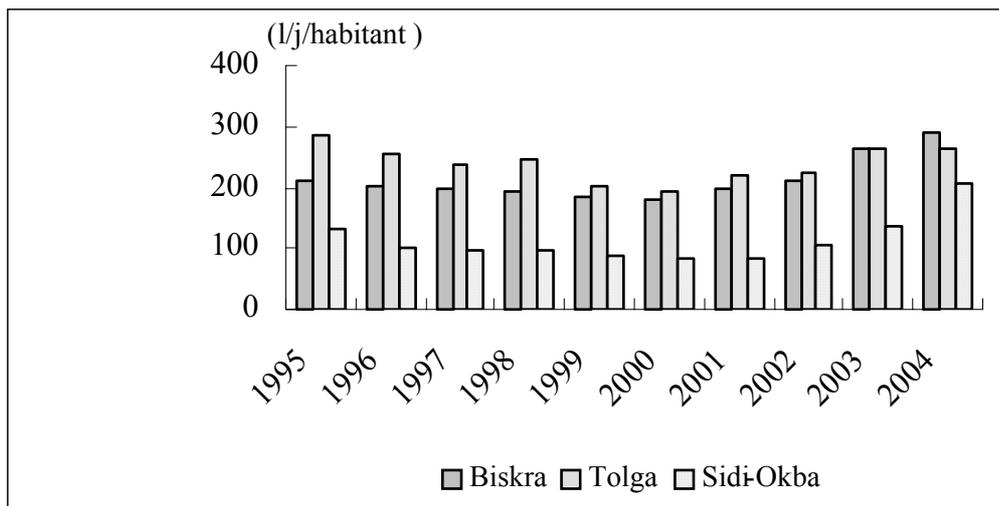


Figure 27 : Productions brutes par habitant en eau potable

IV.4.2. Etat Comparatif: Productions – prélèvements en eau

Si la production brute par habitant constitue un indicateur de satisfaction de la population en eau, les valeurs moyennes des prélèvements domestiques calculées par les différentes approches doivent être, de préférence, confrontées à des grandeurs ayant de meilleures significations de la consommation domestique d'eau.

A cet effet, la production domestique brute par habitant (VDB) représentant le volume d'eau destiné à la consommation domestique rapporté au nombre d'habitants est considéré comme une bonne grandeur de comparaison.

Par ailleurs, le volume produit destiné à la consommation domestique est déduit du volume total produit (VTP) réduit des volumes de la consommation commerciale et publique (VCP) et de l'industrie (VI).

$$VDB = VTP - (VCP + VI) \quad (1)$$

Le calcul des Volumes domestiques brutes (VDB) de la période 1995 – 2004 est conduit de la manière suivante (Tableau 24):

Tableau 24: Calcul des volumes domestiques brutes (VDB)

	Ville	Volumes (m ³ /j)			
		Total Produit	Commerce et Public	Industrie	Domestique Brute
		VTP	VCP	VI	VDB
1995	Biskra	31667	2483	277	28907
	Tolga	7334	149	-	7185
	Sidi-Okba	2879	352	-	2527
1996	Biskra	31244	2776	296	28172
	Tolga	6800	171	-	6629
	Sidi-Okba	2234	356	-	1878
1997	Biskra	30897	3146	333	27418
	Tolga	6754	289	-	6565
	Sidi-Okba	2206	363	-	1843
1998	Biskra	30387	3128	406	26853
	Tolga	7123	241	-	6882
	Sidi-Okba	2310	345	-	1965
1999	Biskra	29191	3148	376	25667
	Tolga	6006	282	-	5724
	Sidi-Okba	2123	347	-	1776
2000	Biskra	29206	3052	318	25836
	Tolga	5885	288	-	5597
	Sidi-Okba	2137	320	-	1817
2001	Biskra	32980	3461	414	29105
	Tolga	6936	323	-	6613
	Sidi-Okba	2177	352	-	1825
2002	Biskra	34743	4047	387	30309
	Tolga	7247	431	-	6816
	Sidi-Okba	2799	307	-	2492
2003	Biskra	44354	4734	389	39231
	Tolga	8011	236	-	7775
	Sidi-Okba	3532	325	-	3207
2004	Biskra	49589	5495	399	43695
	Tolga	8393	323	-	8070
	Sidi-Okba	5376	377	-	4999

Les valeurs des VDB dans le tableau 24 nous permettent de calculer les productions domestiques brutes par habitant PDB dans les trois villes de 1995 à 2004. Les résultats de ces calculs apparaissent dans le tableau 25.

Tableau 25: Calcul des productions domestiques brutes par habitant (PDB)

Année	Ville	Nombre d'habitants	Volumes Domestiques Brutes	Productions Domestiques Brutes par habitant
			VDB (m³/j)	PDB (l/j/habitant)
1995	Biskra	151248	28907	191
	Tolga	25680	7185	279.8
	Sidi-Okba	21660	2527	116.7
1996	Biskra	154530	28172	182.3
	Tolga	26550	6629	249.7
	Sidi-Okba	22230	1878	84.5
1997	Biskra	157788	27418	173.8
	Tolga	28842	6565	227.6
	Sidi-Okba	24054	1843	76.6
1998	Biskra	159084	26853	168.8
	Tolga	30024	6882	229.2
	Sidi-Okba	24690	1965	79.6
1999	Biskra	161454	25667	159
	Tolga	30354	5724	188.6
	Sidi-Okba	23448	1776	75.7
2000	Biskra	162114	25836	159.4
	Tolga	29448	5597	190
	Sidi-Okba	25212	1817	72
2001	Biskra	163410	29105	178.1
	Tolga	30414	6613	217.4
	Sidi-Okba	25608	1825	71.3
2002	Biskra	165096	30309	183.6
	Tolga	30114	6816	226.3
	Sidi-Okba	24498	2492	101.7
2003	Biskra	168732	39231	232.5
	Tolga	30246	7775	257
	Sidi-Okba	25818	3207	124.2
2004	Biskra	169896	43695	257.2
	Tolga	31956	8070	252.5
	Sidi-Okba	26094	4999	191.6

Les prélèvements individuels moyens avec et sans comptage ont été déduits des données fournies par le service des eaux de Biskra. Ces valeurs représentent le rapport des consommations domestiques facturées sur le nombre d'habitant. Les tableaux 26, 27 et 28

rassemblent les prélèvements individuels moyen globaux, avec et sans comptage de la région de Biskra au cours de la période 1995 – 2004.

Tableau 26: Prélèvements individuels moyens globaux (facturation)

Année	Ville	Consommation domestique Facturée (m ³ /j)	Nombre d'habitant	Prélèvement Individuel moyen (l/j/habitant)
1995	Biskra	12838	151248	84.9
	Tolga	1907	25680	74.2
	Sidi-Okba	1776	21660	82
1996	Biskra	13125	154530	84.9
	Tolga	1939	26550	73
	Sidi-Okba	1849	22230	83.2
1997	Biskra	13123	157788	83.2
	Tolga	1992	28842	69
	Sidi-Okba	1742	24054	72.4
1998	Biskra	13271	159084	83.4
	Tolga	1892	30024	63
	Sidi-Okba	1697	24690	68.7
1999	Biskra	13902	161454	86
	Tolga	1881	30354	62
	Sidi-Okba	1707	23448	72.8
2000	Biskra	13379	162114	82.5
	Tolga	2129	29448	72.3
	Sidi-Okba	1783	25212	70.7
2001	Biskra	13501	163410	82.6
	Tolga	2156	30414	70.9
	Sidi-Okba	1809	25608	70.6
2002	Biskra	13729	165096	83.2
	Tolga	2170	30114	72
	Sidi-Okba	1881	24498	76.8
2003	Biskra	14084	168732	83.5
	Tolga	2185	30246	72.2
	Sidi-Okba	1899	25818	73.5
2004	Biskra	14375	169896	84.6
	Tolga	2611	31956	81.7
	Sidi-Okba	1942	26094	74.4

Tableau 27: Prélèvements individuels moyens avec comptage

		Consommation		Prélèvement
--	--	--------------	--	-------------

Année	Ville	domestique Facturée Avec Comptage (m ³ /j)	Nombre d'habitant	Individuel moyen avec comptage (l/j/habitant)
1995	Biskra	2899	43410	66.8
	Tolga	1391	16176	85.9
	Sidi-Okba	564	8574	65.8
1996	Biskra	2927	47286	61.9
	Tolga	1399	17946	77.9
	Sidi-Okba	680	9114	74.6
1997	Biskra	2988	45756	65.3
	Tolga	1512	20190	74.9
	Sidi-Okba	592	9870	60
1998	Biskra	2823	42792	65.9
	Tolga	1373	21012	65.3
	Sidi-Okba	575	10602	54.2
1999	Biskra	3241	43752	74.1
	Tolga	1412	20040	70.5
	Sidi-Okba	578	8838	65.4
2000	Biskra	3014	43944	68.6
	Tolga	1411	20310	69.5
	Sidi-Okba	631	8952	70.5
2001	Biskra	3126	44670	70
	Tolga	1425	20982	67.9
	Sidi-Okba	644	9264	69.5
2002	Biskra	2915	47814	61
	Tolga	1640	21990	74.6
	Sidi-Okba	660	13170	50.1
2003	Biskra	2523	50740	49.7
	Tolga	1608	22212	72.4
	Sidi-Okba	685	14964	45.8
2004	Biskra	2826	52218	54.1
	Tolga	1405	22206	63.3
	Sidi-Okba	764	15246	50.1

Tableau 28: Prélèvements individuels moyens sans comptage

Année	Ville	Consommation domestique Facturée sans comptage (m ³ /j)	Nombre d'habitant	Prélèvement Individuel moyen sans comptage (l/j/habitant)
1995	Biskra	9938	107838	92.2
	Tolga	516	9504	54.3
	Sidi-Okba	1212	13086	92.6
1996	Biskra	10198	107244	95.1
	Tolga	540	8604	62.7
	Sidi-Okba	1169	13116	89
1997	Biskra	10135	112032	90.5
	Tolga	480	8652	55.5
	Sidi-Okba	1149	14184	81
1998	Biskra	10449	116292	89.9
	Tolga	511	9012	56.7
	Sidi-Okba	1123	14088	79.7
1999	Biskra	10661	117702	90.6
	Tolga	470	10314	45.6
	Sidi-Okba	1129	14610	77.3
2000	Biskra	10366	118170	87.7
	Tolga	718	9138	78.6
	Sidi-Okba	1151	16260	70.8
2001	Biskra	10374	118740	87.4
	Tolga	732	9432	77.6
	Sidi-Okba	1164	16344	71.2
2002	Biskra	10813	117282	92.2
	Tolga	529	8124	65.1
	Sidi-Okba	1220	11328	107.7
2003	Biskra	11561	117990	98
	Tolga	577	8034	71.8
	Sidi-Okba	1214	10854	111.8
2004	Biskra	11550	117678	98.1
	Tolga	1206	9750	123.7
	Sidi-Okba	1178	10848	108.6

L'évaluation des prélèvements individuels moyens par mesures de la distribution, évoquée au paragraphe 3.2.4 a donné les valeurs suivantes :

Tableau 29: Prélèvements individuels mesurés

Ville	Prélèvement individuel mesuré (l/j/hab.)
Biskra	75.4
Tolga	66.2
Sidi-Okba	48.0

D'une manière générale, les prélèvements individuels moyens en eau dans la région de Biskra, pour la période 1995 – 2004 n'ont pas dépassé les 100 l/j/habitant.

Ces indicateurs qui représentent en principe, le taux de satisfaction de la population sont assez faibles et traduisent par conséquence un dysfonctionnement des systèmes d'alimentation en eau potable dans cette région.

La comparaison des valeurs de la production domestique brute par habitant (PDB) du tableau 26 avec celles des différents prélèvements individuels déjà déduits des données fournies par l'exploitant ainsi que les prélèvements mesurés et qui apparaissent aux tableaux 27, 28, 29 montre clairement que les valeurs des PDB sont nettement plus grandes (tableau 30, 31 et 32). Ces grands décalages observés ne peuvent être expliqués que, d'une part, par le manque d'étanchéité des réseaux d'eau et d'autre part, par les surconsommations et le gaspillage d'eau chez les abonnés sans compteurs.

Tableau 30: Etat comparatif des PDB – Prélèvements individuels en eau potable à Biskra

Année	Production Domestique Brute (l/j/hab.)	Prélèvement Individuel moyen (l/j/habitant)			Mesuré
		Facturé	Avec comptage	Sans comptage	
1995	191	84.9	66.8	92.2	75.4
1996	182.3	84.9	61.9	95.1	
1997	173.8	83.2	65.3	90.5	
1998	168.8	83.4	65.9	89.9	
1999	159	86	74.1	90.6	
2000	159.4	82.5	68.6	87.7	
2001	178.1	82.6	70	87.4	
2002	183.6	83.2	61	92.2	
2003	232.5	83.5	49.7	98	
2004	257.2	84.6	54.1	98.1	

Tableau 31: Etat comparatif des PDB – Prélèvements individuels en eau potable à Tolga

Année	Production Domestique Brute (l/j/hab.)	Prélèvement Individuel moyen (l/j/habitant)			Mesuré
		Facturé	Avec comptage	Sans comptage	
1995	279.8	74.2	85.9	54.3	66.2
1996	249.7	73	77.9	62.7	
1997	227.6	69	74.9	55.5	
1998	229.2	63	65.3	56.7	
1999	188.6	62	70.5	45.6	
2000	190	72.3	69.5	78.6	
2001	217.4	70.9	67.9	77.6	
2002	226.3	72	74.6	65.1	
2003	257	72.2	72.4	71.8	
2004	252.5	81.7	63.3	123.7	

Tableau 32: Etat comparatif des PDB – Prélèvements individuels en eau potable à Sidi-Okba

Année	Production Domestique Brute (l/j/hab.)	Prélèvement Individuel moyen (l/j/habitant)			Mesuré
		Facturé	Avec comptage	Sans comptage	
1995	116.7	82	65.8	92.6	48.0
1996	84.5	83.2	74.6	89	
1997	76.6	72.4	60	81	
1998	79.6	68.7	54.2	79.7	
1999	75.7	72.8	65.4	77.3	
2000	72	70.7	70.5	70.8	
2001	71.3	70.6	69.5	71.2	
2002	101.7	76.8	50.1	107.7	
2003	124.2	73.5	45.8	111.8	
2004	191.6	74.4	50.1	108.6	

Ces valeurs constituent une démonstration que les consommations domestiques réelles dans cette région ne correspondent pas aux estimations des volumes d'eau destinés à la consommation. Une simple comparaison des prélèvements individuels facturés les valeurs moyennes mesurées montrent que :

- les usagers dotés de compteurs consomment moins que ceux dont la consommation en eau est évaluée forfaitairement.
- On estime que la plus grande partie du volume gaspillé est enregistrée chez les usagers dépourvus de compteurs.
- Les interruptions courantes de service d'alimentation en eau font que les abonnés utilisent des grands moyens de stockage d'eau.
- Dans la plupart des cas et pour insuffisance de pressions, les usagers utilisent des pompes domestiques pour relever l'eau notamment dans les bâtiments à plusieurs étages (questionnaire sur l'utilisation de l'eau potable où 79 % des usagers utilisent des pompes domestiques)
- Une autre fois de plus, l'hypothèse du taux de pertes élevé dans l'ensemble des systèmes d'alimentation en eau potable est vérifiée.
- La différence entre les dotations mesurées (dans des conditions de disponibilité d'eau et de compteurs) et les prélèvements individuels (coupures d'eau durant en moyenne jusqu'à 8 heures par jour) déduits sur la base des factures établies par le service des eaux reflète l'importance du volume gaspillé.
- Les moyennes des prélèvements individuels comptés au cours de la période 1995-2004 se situent entre 50 et 74 l/j/habitant à Biskra, 63 et 86 l/j/habitant à Tolga et 46 et 75 l/j/habitant à Sidi-Okba.

IV.5. Evaluation des pertes d'eau

Les fuites en réseaux et chez l'utilisateur sont estimées selon l'importance relative du débit nocturne par rapport au débit moyen sur vingt-quatre heures, ou par comparaison entre les volumes produits et les volumes consommés.

Les campagnes de mesures déjà évoquées ont permis de déterminer les volumes d'eau consommés par les trois populations de Biskra. Les volumes d'eau consommés dans les commerces, les établissements publics et l'industrie ont été déduits des factures établies par le service des eaux.

Par comparaison des débits de consommation des différents usagers, avec les volumes d'eau produits destinés à l'alimentation en eau potable, les pertes d'eau sont évaluées dans chaque localité par différentes approches.

IV.5.1 Par bilan : Production – Consommation

Les campagnes de mesures de la distribution, effectuées en Septembre-Novembre 2002 dans la région de Biskra ont permis d'évaluer les consommations domestiques des trois populations. Les consommations commerciales, publiques et industrielles ont été déduites des relevés des factures établies par l'exploitant.

Par ailleurs, l'extrapolation de la consommation domestique avec comptage à toutes les trois populations a abouti également à une quantification des consommations qui nous permettra encore une fois d'évaluer les pertes d'eau.

Le bilan production – consommation d'eau consiste à établir une comparaison, d'une part, entre les volumes produits mis en distribution, et d'autre part, les volumes consommés déduits des factures du service d'eau et les volumes des consommations mesurées.

Les tableaux 33, 34 et 35 rassemblent les volumes et les taux de pertes d'eau résultant de différents bilans : A, B et C établis, d'une part entre la production et d'autre part, les consommations déjà déterminées par plusieurs démarches.

Tableau 33: Volumes et taux de pertes d'eau par bilan "A" :
Production – consommation totale facturée

Année	Ville	Consommations facturées (m ³ /j)			Production (m ³ /j)	Pertes (m ³ /j)	Taux de pertes (%)
		Domestique	Commerciale et publique	Industrielle			
1995	Biskra	12838	2483	277	31667	16069	51
	Tolga	1907	149	-	7334	5278	72
	S/Okba	1776	352	-	2879	751	26
1996	Biskra	13125	2776	296	31244	15047	48
	Tolga	1939	171	-	6800	4690	69
	S/Okba	1849	356	-	2234	29	01
1997	Biskra	13123	3146	333	30897	14295	46
	Tolga	1992	189	-	6754	4573	68
	S/Okba	1742	363	-	2206	101	05
1998	Biskra	13271	3128	406	30387	13582	45
	Tolga	1892	241	-	7123	4990	70
	S/Okba	1697	345	-	2310	268	12
1999	Biskra	13902	3148	376	29191	11765	40
	Tolga	1881	282	-	6006	3843	64
	S/Okba	1707	347	-	2123	69	03
2000	Biskra	13379	3052	318	29206	12457	43
	Tolga	2129	288	-	5885	3468	59
	S/Okba	1783	320	-	2137	34	02
2001	Biskra	13501	3461	414	32980	15604	47
	Tolga	2156	323	-	6936	4457	64
	S/Okba	1809	352	-	2137	-	-
2002	Biskra	13729	4047	387	34743	16580	48
	Tolga	2170	431	-	7247	4646	64
	S/Okba	1881	307	-	2799	611	22
2003	Biskra	14084	4734	389	44354	25147	57
	Tolga	2185	236	-	8011	5590	70
	S/Okba	1899	325	-	3532	1308	37
2004	Biskra	14375	5495	399	49589	29320	59
	Tolga	2611	323	-	8393	5459	65
	S/Okba	1942	377	-	5376	3057	57

Tableau 34: Volumes et taux de pertes par bilan ‘B’: Production – consommation totale
(extrapolation de la consommation domestique avec comptage à toute la population)

Année	Ville	Consommations facturées (m ³ /j)			Production (m ³ /j)	Pertes (m ³ /j)	Taux de pertes (%)
		Domestique extrapolée	Commerciale et publique	Industrielle			
1995	Biskra	10066	2483	277	31667	18841	59
	Tolga	2208	149	-	7334	4977	68
	S/Okba	1425	352	-	2879	1102	38
1996	Biskra	9566	2776	296	31244	18606	60
	Tolga	2070	171	-	6800	4559	67
	S/Okba	1659	356	-	2234	219	10
1997	Biskra	10304	3146	333	30897	17114	55
	Tolga	2160	189	-	6754	4405	65
	S/Okba	1445	363	-	2206	398	18
1998	Biskra	10495	3128	406	30387	16358	54
	Tolga	1962	241	-	7123	4920	69
	S/Okba	1339	345	-	2310	726	31
1999	Biskra	11960	3148	376	29191	13707	47
	Tolga	2139	282	-	6006	3585	60
	S/Okba	1533	347	-	2123	243	11
2000	Biskra	11115	3052	318	29206	14721	50
	Tolga	2046	288	-	5885	3551	60
	S/Okba	1777	320	-	2137	40	02
2001	Biskra	11435	3461	414	32980	17670	54
	Tolga	2066	323	-	6936	4547	66
	S/Okba	1780	352	-	2137	5	0.2
2002	Biskra	10065	4047	387	34743	20244	58
	Tolga	2247	431	-	7247	4569	63
	S/Okba	1262	307	-	2799	1230	44
2003	Biskra	8390	4734	389	44354	30841	70
	Tolga	2190	236	-	8011	5585	70
	S/Okba	1182	325	-	3532	2025	57
2004	Biskra	9195	5495	399	49589	34500	70
	Tolga	2022	323	-	8393	6048	72
	S/Okba	1308	377	-	5376	3691	69

Tableau 35: Volumes et taux de pertes d'eau par bilan "C":
 Production – consommation totale
 (extrapolation de la consommation domestique mesurée à toute la population)

Villes	Consommation (m ³ /j)				Production (m ³ /j)	Pertes (m ³ /j)	Taux de pertes (%)
	Domestique mesurée	Commerciale et publique	Industrielle	Totale			
Biskra	12805	5495	399	18699	49589	30890	62
Tolga	2116	323	-	2439	8393	5954	71
Sidi-okba	1252	377	-	1629	5376	3747	70

Les résultats des différentes démarches montrent que les pertes d'eau dans les systèmes d'alimentation en eau potable de cette région sont très importantes. Les taux de pertes dans les villes principales de cette région sont évalués en moyenne de 48 à 62% à Biskra, 66 à 71 à Tolga et de 18 à 70% à Sidi-Okba par les études comparatives entre la demande et la production d'eau. Ces valeurs constituent néanmoins une démonstration du manque de fiabilité du système de distribution (tableaux 37).

Tableau 36: Etat récapitulatif des taux de pertes d'eau par localité

Ville	Année	Taux de pertes d'eau en % par		
		Bilan "A"	Bilan "B"	Bilan "C"
Biskra	1995	51	59	62
	1996	48	60	
	1997	46	55	
	1998	45	54	
	1999	40	47	
	2000	43	50	
	2001	47	54	
	2002	48	58	
	2003	57	70	
	2004	59	70	

Ville	Année	Taux de pertes d'eau en % par		
		Bilan "A"	Bilan "B"	Bilan "C"
Tolga	1995	72	68	71
	1996	69	67	
	1997	68	65	
	1998	70	69	
	1999	64	60	
	2000	59	60	
	2001	64	66	
	2002	64	63	
	2003	70	70	
	2004	65	72	

Ville	Année	Taux de pertes d'eau en % par		
		Bilan "A"	Bilan "B"	Bilan "C"
Sidi-Okba	1995	26	38	70
	1996	01	10	
	1997	05	18	
	1998	12	31	
	1999	03	11	
	2000	02	02	
	2001	-	0.2	
	2002	22	44	
	2003	37	57	
	2004	57	69	

L'approche par bilan conduit à une estimation moins favorable car elle prend en compte à la fois les pertes d'eau en réseau, mais aussi la surconsommation chez les abonnés non équipés de compteurs. Il est probable que ces estimations par bilan comportent également des incertitudes : extrapolation du panel de consommateurs et surtout mauvaise connaissance des consommations commerciales et publiques qui représentent plus de 18% de la consommation totale.

IV.5.2. Par des mesures de débits nocturnes

Les campagnes de mesures nocturnes des débits de la distribution ont été réalisées en septembre 2003 pour Biskra et en avril 2004 pour les villes de Tolga et Sidi-Okba. Les mesures ont concerné trois forages à Biskra, un forage à Tolga et un réservoir à Sidi-Okba. Ces installations sont équipées de compteurs et desservent des zones n'hébergeant aucune activité agricole ni industrielle. Le choix de ces points d'eau a été motivé par la disponibilité du personnel pour la réalisation des mesures nocturnes, par la possibilité d'isoler les zones desservies ainsi que par l'absence des activités agricoles et industrielles. La démarche envisagée est de procéder à l'extrapolation des mesures réalisées à l'ensemble des systèmes et d'estimer les volumes de pertes dans les trois agglomérations. Le nombre d'abonnés et la longueur du réseau dans chaque zone concernée sont respectivement, 6996 abonnés et 86 km à Biskra, 560 abonnés et 14 km à Tolga et 440 abonnés et 9 km à Sidi-Okba. Les campagnes de mesures se sont déroulées entre 01h00 et 03h00 à Biskra et de 24h00 à 01h00 à Tolga et Sidi-Okba.

A Biskra la zone testée est habituellement alimentée en eau potable par l'intermédiaire de trois conduites. La première conduite, assure l'acheminement de l'eau depuis le champ captant Oued El Haï, les deux autres sont des conduites qui assurent la liaison du réseau de cette zone avec le réseau du reste de la ville de Biskra.

La fermeture, pendant la nuit des vannes de ces deux dernières conduites permet d'isoler la zone testée et la desserte nocturne de celle-ci ne se fait qu'à partir du champ captant de Biskra. A Tolga et Sidi-Okba, l'isolation des zones étudiées était plus simple, elle a été obtenue par la fermeture d'une seule vanne pour chaque zone. Les résultats de ces mesures se présentent comme suit :

Débits distribués à partir des forages du champ captant Oued El Haï de Biskra

17.09.2003	entre 01h00 et 03h00 :	380 m ³	soit 190 m ³ / h
18.09.2003	entre 01h00 et 03h00 :	350 m ³	soit 175 m ³ / h
19.09.2003	entre 01h00 et 03h00 :	340 m ³	soit 170 m ³ / h

Débits distribués à partir du forage de la nouvelle daïra de Tolga

27.04.2004	entre 24h00 et 01h00 :	18 m ³	(18 m ³ /h)
28.04.2004	entre 24h00 et 01h00 :	15 m ³	(15 m ³ /h)
29.04.2004	entre 24h00 et 01h00 :	17.5 m ³	(17.5 m ³ /h)

Débits distribués à partir du réservoir Bir Boussoudane de Sidi-Okba

04.04.2004	entre 24h00 et 01h00 :	10 m ³	(10 m ³ /h)
05.04.2004	entre 24h00 et 01h00 :	13 m ³	(13 m ³ /h)
06.04.2004	entre 24h00 et 01h00 :	10.5 m ³	(10.5 m ³ /h)

Les valeurs moyennes des débits nocturnes de distributions dans les trois zones testées se présentent de la manière suivante (Masmoudi et al., 2004):

Tableau 37 : Débits de distributions nocturnes dans les zones testées

	Horaire des mesures	Valeurs moyennes des débits de distribués (m ³ /h)
Biskra	01h00 – 03h00	180
Tolga	24h00 – 01h00	17
Sidi-Okba	24h00 – 01h00	11

Etant donné que les zones testées ne présentent aucune activité agricole ni industrielle et que les mesures de la distribution ont été prises à des heures tardives dans la nuit, les débits de consommations nocturnes sont considérés très faibles et se limitent, éventuellement à des utilisations de remplissage des réserves.

Les valeurs retenues sont les moyennes des mesures : 180 m³/h soit 4320 m³/jour à Biskra, 17 m³/h soit 408 m³/j à Tolga et 11 m³/h soit 264 m³/j à Sidi-Okba.

L'extrapolation de ces mesures proportionnellement aux nombres d'abonnés dans les trois agglomérations conduit aux volumes de pertes suivants :

Tableau 38: Volumes et taux de pertes d'eau par mesures de débits nocturnes
(extrapolation proportionnelle aux nombre d'abonnés)

	Pertes mesurées (m ³ /j)	Nombre d'abonnés	Volumes extrapolés de pertes (m ³ /j)	Taux de pertes par rapport à la production (%)
Biskra	4320	28316	17485	35
Tolga	408	5326	3880	46
Sidi-Okba	264	4349	2609	49

L'extrapolation proportionnellement aux linéaires des réseaux concernés conduit pour l'ensemble des villes à des volumes et des taux de pertes:

Tableau 39: Volumes et taux de pertes d'eau par mesures de débits nocturnes
(extrapolation proportionnelle aux linéaires des réseaux)

	Pertes mesurées (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Volumes extrapolés de pertes (m ³ /j)	Taux de pertes par rapport à la production (%)
Biskra	4320	324	16275	33
Tolga	408	111	3235	39
Sidi-Okba	264	78	2288	43

La mesure par débit de nuit conduit à une estimation sans doute plus fiable des pertes dans le réseau. Le volume de la surconsommation chez les abonnés sans compteur et de l'utilisation frauduleuse de l'eau peut être déduit de deux estimations en considérant la différence entre les pertes d'eau calculées par bilan et les pertes déterminées par les mesures des débits nocturnes.

Quelque soit la méthode utilisée, il est clair que les volumes d'eau perdus sont très importants. La méthode des débits nocturnes conduit à des estimations de l'ordre de 35 à 49 %, même s'il est difficile d'attribuer aux réseaux l'ensemble de ces pertes, car il est possible que certains débits soient utilisés pour remplir des réserves. L'utilisation du débit moyen sur les trois jours de mesure minimise toutefois cet impact.

L'absence d'un système fiable de comptage et la facturation forfaitaire appliquée aux abonnés sans compteurs sont considérées comme les causes principales de la surconsommation d'eau et du phénomène de gaspillage. L'utilisation frauduleuse de l'eau potable, par certains abonnés dans l'irrigation de leurs petites palmeraies contribue également à augmenter le volume des pertes.

D'autres facteurs sont également à l'origine de ces importantes pertes d'eau. Il s'agit notamment de:

- La mauvaise qualité des travaux de pose des conduites,
- La multiplication des interruptions de service (stockage de grandes quantités d'eau chez l'utilisateur),
- La dégradation continue des installations du système d'eau potable (vannes, poteaux d'incendie...) et l'absence d'entretien,
- Le taux de fuites élevé (joints, casses, corrosion, étanchéité défectueuse des réservoirs, branchements, chez l'utilisateur),
- Le gaspillage dans les établissements publics sans compteur (écoles, mosquées, marchés...),
- Les branchements clandestins,
- Les compteurs défectueux ou détériorés.

IV.6. Effet de l'utilisation des pompes domestiques sur les pertes d'eau

Une enquête d'opinion sur la consommation domestique d'eau a été effectuée pour vérifier si la population est bien informée sur les caractéristiques quantitatives et qualitatives de l'eau distribuée.

Le questionnaire adressé à un échantillon de 200 abonnés comprenait 24 questions. Nous avons procédé à l'analyse de 188 réponses récoltées.

A la question ‘‘Avez-vous un dispositif individuel pour améliorer la quantité et/ou la qualité de l’eau du robinet’’, 79 % ont répondu avoir une pompe domestique.

Ce résultat, nous a motivé à chercher une éventuelle corrélation entre l’utilisation quasi-générale de pompes domestiques et les pertes d’eau.

Les pompes sont généralement installées sur les conduites des branchements individuels. Puisant directement de cette dernière, les pompes refoulent des débits dépassant largement les besoins de l’usager. En effet, pour éviter l’étouffement de la pompe et protéger la tuyauterie contre les fortes pressions, les usagers procèdent souvent à l’ouverture simultanée de plusieurs robinets. Ces pratiques qui occasionnent des surconsommations sont observées beaucoup plus chez les usagers sans compteurs où la facturation des consommations d’eau est forfaitaire.

IV.7. Interprétation de l’importance des taux de pertes

Les résultats montrent que les pertes d’eau dans les systèmes d’alimentation en eau potable de cette région sont très importantes. Les taux de pertes dans les villes testées de la région sont évalués à 58 % à Biskra, 69 % à Tolga et 66 % à Sidi-Okba par l’étude comparative entre la production et la demande en eau et de 39 % à Biskra, 46 % à Tolga et 49 % à Sidi-Okba par mesure des débits nocturnes. Ces valeurs constituent néanmoins un indicateur du manque de fiabilité du système de distribution.

L’approche par bilan conduit à une estimation moins favorable car elle prend en compte à la fois les pertes d’eau en réseau, mais aussi la surconsommation chez les abonnés sans compteurs et équipés en pompes. Il est probable que cette estimation par bilan comporte également des incertitudes : extrapolation du panel de consommateurs et surtout mauvaise connaissance des consommations commerciales et publiques qui représentent 26%, 12% et 20% respectivement à Biskra, Tolga et Sidi-Okba de la consommation totale.

La mesure par débit de nuit conduit à une estimation sans doute plus fiable des pertes dans le réseau. Les volumes de la surconsommation chez les abonnés sans compteurs et équipés de pompes domestiques et de l’utilisation frauduleuse de l’eau peuvent être déduits des deux estimations en considérant les différences entre les deux approches et atteignent dans ces conditions les valeurs suivantes :

Estimation des surconsommations exprimées en pourcentage des volumes produits :

Biskra : 9422 m³/j soit 19%

Tolga : 1930 m³/j soit 23%

Sidi-Okba : 914 m³/j soit 17%

Quelque soit la méthode utilisée, il est clair que les volumes d'eau perdus sont très importants. La méthode des débits nocturnes conduit à des estimations allant de 39% à Biskra jusqu'à 49% à Sidi-Okba, même s'il est difficile d'attribuer aux réseaux l'ensemble de ces pertes, car il est possible que certains débits soient utilisés pour remplir des réserves ou dans des activités nocturnes.

D'autres facteurs sont également à l'origine de ces importantes pertes d'eau. Il s'agit essentiellement de :

- La multiplication des interruptions de service (favorise le stockage de grandes quantités d'eau chez l'utilisateur),
- L'absence d'entretien des réseaux et des équipements,
- Branchements clandestins,
- Compteurs défectueux ou détériorés.

IV.8. Ratios de fonctionnement et de performance des systèmes de distribution

La détermination des rendements techniques des réseaux d'eau potable dans la région de Biskra a permis d'apprécier d'avantage la qualité et l'efficacité du système de distribution. Les données disponibles et les mesures effectuées sur la consommation ainsi que les résultats obtenus sur les pertes et les fuites d'eau ne permettent de calculer que le rendement technique primaire ainsi que les indices linéaires de pertes, de fuites et de consommation de l'ensemble des villes étudiées.

IV.8.1. Rendement technique primaire

Le calcul de cet indicateur technique peut se faire par de différentes manières, selon la démarche de l'évaluation du volume de la consommation domestique en eau potable. La première démarche conduit au calcul du rendement en utilisant le volume extrapolé de la consommation domestique avec comptage. La deuxième démarche consiste à déterminer le

rendement primaire des trois localités en se basant sur l'extrapolation de la consommation domestique mesurée par panel de consommateurs. Les calculs, menés sur la période 1995 - 2004 conduisent aux rendements primaires suivants :

- a) Le volume comptabilisé est la somme des volumes : domestique avec comptage extrapolé, commercial – public et industriel.

Tableau 40: Rendements primaires des réseaux de Biskra au cours de la période 1995-2004

Année	Ville	Volume (m ³ /j)		Rendement primaire (%)
		Comptabilisé	Mis en distribution	
1995	Biskra	12826	31667	41
	Tolga	2357	7334	32
	Sidi-Okba	1777	2879	62
1996	Biskra	12638	31244	40
	Tolga	2241	6800	33
	Sidi-Okba	2015	2234	90
1997	Biskra	13783	30897	45
	Tolga	2349	6754	35
	Sidi-Okba	1808	2206	82
1998	Biskra	14029	30387	46
	Tolga	2203	7123	31
	Sidi-Okba	1684	2310	73
1999	Biskra	15484	29191	53
	Tolga	2421	6006	40
	Sidi-Okba	1880	2123	89
2000	Biskra	14485	29206	50
	Tolga	2334	5885	40
	Sidi-Okba	2097	2137	98
2001	Biskra	15310	32980	46
	Tolga	2389	6936	34

	Sidi-Okba	2132	2137	99
2002	Biskra	14499	34743	42
	Tolga	2678	7247	37
	Sidi-Okba	1569	2799	56
2003	Biskra	13513	44354	30
	Tolga	2426	8011	30
	Sidi-Okba	1507	3532	43
2004	Biskra	15089	49589	30
	Tolga	2345	8393	28
	Sidi-Okba	1685	5376	31

b) Le volume comptabilisé est la somme des volumes : domestique mesuré extrapolé, commercial – public et industriel.

Tableau 41: Rendement primaire des systèmes d'eau potable en 2004

Ville	Volume (m ³ /j)		Rendement primaire (%)
	Comptabilisé	Mis en distribution	
Biskra	18699	49589	38
Tolga	2439	8393	29
Sidi-Okba	1629	5376	30

Ces calculs montrent que quelque soit la méthode d'évaluation utilisée, les rendements techniques de l'ensemble des réseaux sont faibles. Quoique la ville de Sidi-Okba a présenté des rendements primaires anormalement élevés. Ceci est expliqué par le manque de fiabilité des données utilisées, notamment les consommations dans cette localité.

Les rendements issus des résultats des mesures des volumes de consommations domestiques sont de l'ordre de 30%, ce qui démontre, une fois de plus l'absence de performance de ces systèmes de distribution.

IV.8.2. Indices linéaires de pertes

L'indice de perte est un indicateur technique qui permet de valider plusieurs fonctions que doit remplir le système d'alimentation en eau potable.

Le calcul des indices linéaires de pertes des trois villes a été entrepris en se basant sur les volumes de pertes déterminés par les différentes méthodes. Ce calcul a conduit aux valeurs suivantes (tableau 42):

- a) Calcul des indices linéaires de pertes (Volumes de pertes évalués par bilan "A" : Production – Consommation totale facturée).

Tableau 42: Indices linéaires de pertes des systèmes d'eau potable en 2004

Ville	Volume de pertes (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de pertes ILP (m ³ /j/km)
Biskra	29320	324	91
Tolga	5459	111	49
Sidi-Okba	3057	78	39

- b) Calcul des indices linéaires de pertes (Volumes de pertes évalués par bilan "B" : Production – Consommation totale, par extrapolation de la consommation domestique avec comptage).

Tableau 43: Indices linéaires de pertes en 2004

Ville	Volume de pertes (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de pertes ILP (m ³ /j/km)
Biskra	34500	324	106
Tolga	6048	111	54
Sidi-Okba	3691	78	47

- c) Calcul des indices linéaires de pertes (Volumes de pertes évalués par bilan "C" : Production – Consommation totale, la consommation domestique mesurée).

Tableau 44: Indices linéaires de pertes en 2004

Ville	Volume de pertes (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de pertes ILP (m ³ /j/km)
-------	--------------------------------------	-------------------------	--

Biskra	30890	324	95
Tolga	5954	111	54
Sidi-Okba	3747	78	48

d) Etat récapitulatif des indices linéaires de pertes

Tableau 45: Récapitulation des valeurs des indices linéaires de pertes calculés

Ville	Indices linéaires de pertes calculé sur la base du (m ³ /j/km)		
	Bilan "A"	Bilan "B"	Bilan "C"
Biskra	91	106	95
Tolga	49	54	54
Sidi-Okba	39	47	48

Tableau 46: Valeurs guides de l'indice linéaire de pertes en fonction de la taille de la population (Deb, 1994)

Taille de la population (habitant)	Indice Linéaire de Pertes ILP (m ³ /j/km)
< 5000	5
5000 - 10000	9
10000 - 20000	10
20000 - 50000	12
50000 - 100000	19
> 100000	23

La comparaison des indices de pertes calculés avec les valeurs guides (tableau 46), montre que quelque soit la méthode utilisée, les valeurs des indices linéaires de pertes des réseaux testés dépassent largement les valeurs guides. A Biskra par exemple, l'ILP calculé est de l'ordre de 90 m³/j/km, alors que la valeur guide correspondante est de l'ordre de 20 m³/j/km. Ce grand décalage entre les valeurs calculées et les valeurs de référence de cet indice confirme, une fois de plus que les systèmes d'eau potable dans cette région souffrent du manque de performances et de fiabilité.

IV.8.3. Indice linéaire de fuites

Les volumes de la distribution nocturnes déjà définis par les campagnes de mesures engagées dans cette région sont considérés comme des volumes de fuites avec lesquels le calcul de ces paramètres est effectué. Les résultats apparaissent dans le tableau 47:

Tableau 47: Indices linéaires de fuites des systèmes d'eau potable de Biskra

Ville	Volume de fuites (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de fuites ILF (m ³ /j/km)
Biskra	17485	324	54
Tolga	3880	111	35
Sidi-Okba	2609	78	33

Les résultats du tableau 47, exprimant la qualité de l'état physique des réseaux montrent que ceux-ci manquent d'herméticité et sont loin d'être étanches. Les valeurs de référence de cet indice, variant de 1 – 3 m³/j/km dans les zones rurales et de 7 – 12 dans les zones urbaines (Deb, 1994), montrent clairement que les indices de fuites obtenus sont très élevés.

IV.8.4. Indice linéaire de consommation

Ces indices calculés pour l'ensemble des systèmes d'eau potable de la région permettent d'apprécier les performances du fonctionnement et de la répartition des consommateurs sur le réseau. L'indice de consommation, exprimé par le rapport entre les volumes consommés et la longueur totale des canalisations d'adduction et de distribution est calculé par de différentes démarches. On a utilisé ainsi les mêmes démarches que lors de calcul des indices de pertes. Le calcul a conduit aux résultats suivants:

a) Calcul des indices linéaires de consommation (Volume total consommé évalué par les données de la facturation).

Tableau 48: Indices linéaires de consommation d'eau potable en 2004 (type a)

Ville	Volume total consommé (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de consommation ILC (m ³ /j/km)
Biskra	20269	324	63
Tolga	2934	111	26
Sidi-Okba	2319	78	30

b) Calcul des indices linéaires de consommation (Volume total consommé : la somme de la consommation domestique avec comptage extrapolée à la population toute entière, consommation commerciale-publique et la consommation industrielle).

Tableau 49: Indices linéaires de consommation d'eau potable en 2004 (type b)

Ville	Volume total consommé (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de consommation ILC (m ³ /j/km)
Biskra	15089	324	47
Tolga	2345	111	21
Sidi-Okba	1685	78	22

c) Calcul des indices linéaires de consommation (Volume total consommé : la somme de la consommation domestique mesurée extrapolée, la consommation commerciale-publique et la consommation industrielle).

Tableau 50: Indices linéaires de consommation d'eau potable en 2004 (type c)

Ville	Volume total consommé (m ³ /j)	Longueur du réseau (km)	Indice linéaire de consommation ILC (m ³ /j/km)
Biskra	15089	324	47
Tolga	2345	111	21
Sidi-Okba	1685	78	22

Tableau 51: Valeurs guides des indices linéaires de consommations (Deb, 1994)

Réseau	Valeur ILC (m ³ /j/km)	ILC avec branchements (m ³ /j/km)
Rural	ILC < 10	ILC < 9
Intermédiaire	10 < ILC < 30	9 < ILC < 27
Urbain	ILC > 30	ILC > 27

Les résultats des indices linéaires de consommation comparés aux valeurs guides, conduisent à des indices acceptables. Ces indicateurs de performance constituent un outil de vérification et de contrôle de la bonne exploitation des réseaux de distribution. Les valeurs réalisées étaient entre 47 et 63 à Biskra, de 21 à 26 à Tolga et de 22 à 30 à Sidi-Okba.

IV.9. Conclusion

Cette analyse a permis de mettre en évidence l'importance de la connaissance et de la maîtrise du fonctionnement des systèmes de distribution d'eau potable dans la région de Biskra.

Les données déduites des factures établies par l'exploitant comportent trop d'incertitudes et leur exploitation risque de ne pas refléter la réalité du système de distribution. Ces incertitudes nous ont conduit pour évaluer la demande et les pertes d'eau à nous appuyer, dans un premier temps sur les mesures de consommations à partir d'un panel d'abonnés domestiques pour lesquels une évaluation de la demande en eau a été réalisée et extrapolée ensuite à l'ensemble de la population puis dans un second temps, sur les mesures des débits de nuit distribués dans la ville de Biskra.

Les mesures réalisées ont montré

- que les consommations domestiques moyennes par abonné, varient entre 372 et 605 l/j/abonné et que les coefficients de variations journalières sont assez faibles : (0.86 et 1.14).
- que les pertes d'eau dans les réseaux s'établissent autour de 55 à 60 %
- que la surconsommation due au manque de compteur pouvait se situer autour de 20 % mais que ce chiffre devait être pris avec précaution, car résultant d'incertitudes sur les consommations publiques et industrielles.

Les résultats de cette étude donnent une base d'évaluation des besoins en eau domestique dans les agglomérations du sud algérien à prendre en compte dans les aménagements futurs.

L'étude indique par ailleurs un taux de pertes dans les réseaux anormalement élevé et une surconsommation défailants, ce qui nécessite des investigations supplémentaires pour localiser les tronçons les plus fuyards. Il semble donc capital, à très court terme de généraliser l'utilisation des compteurs et d'entreprendre une réhabilitation des réseaux. Les valeurs incomparables des indices linéaires de pertes et de fuites avec les grandeurs de référence mettent l'exploitant dans l'obligation de procéder à la réduction du taux de pertes et d'améliorer l'étanchéité des systèmes d'eau potable par :

- Installation d'un compteur à chaque abonné
- Installation des compteurs généraux
- Procéder à court terme à la détection des fuites sur le réseau

- Réparation des fuites et réhabilitation et rénovation du réseau
- Formation de personnel d'entretien et d'intervention
- Sensibiliser les usagers vis-à-vis du gaspillage de l'eau

Ces actions doivent être suivies par la mise en œuvre d'une stratégie d'exploitation visant à optimiser le service rendu aux usagers et à assurer régulièrement les relevés des compteurs. Il est également nécessaire de développer des approches d'aides au choix des options techniques de réhabilitation des systèmes : renouvellement, rénovation.

L'efficacité de ces mesures pourra être démontré en renouvelant tout ou partie de l'étude présentée ici, immédiatement après la mise en place des mesures correctrices.

A long terme, il est impératif de procéder à l'élaboration de schémas directeurs pour programmer et hiérarchiser les opérations de renouvellement des réseaux et prévoir les investissements futurs.

L'ensemble des réflexions doit converger vers une optimisation de l'utilisation de la ressource afin de la préserver et de retarder voir d'éviter la réalisation de nouveaux investissements.

Quels que soient les démarches envisagées pour passer à un système capable de distribuer une eau satisfaisante tant en quantité qu'en qualité, il est fortement recommander que l'utilisation des ressources en eau soit liée étroitement aux demandes des usagers. Cette alternative revient, pour les prestataires, à étudier précisément les paramètres de la demande en eau, et éventuellement à impliquer les usagers dans les opérations de maîtrise de la demande lorsqu'une pénurie quantitative de ressources en eau se présente.

V. Schéma d'analyse d'un système d'alimentation en eau potable

V.1. Introduction

L'évaluation du fonctionnement des réseaux correspond en fait à la mesure du taux de population raccordée. Cet indicateur suffisait amplement à mesurer les efforts encore nécessaires pour satisfaire l'objectif principal d'accès généralisé à l'eau potable. La performance des réseaux demande à être évaluée à la fois plus globalement et plus précisément. L'utilisation d'indicateurs de performance pour mesurer l'état fonctionnel du réseau permet de dresser de façon plus pragmatique un inventaire des lacunes ou des progrès du système de distribution. Ces indicateurs, et plus particulièrement ceux couvrant le domaine technique, constituent, en quelque sorte, le tableau de bord consacré à la gestion de l'infrastructure. Ils servent aux exploitants, dans la formulation des objectifs à atteindre en devenant supports d'aide à la décision et bases d'évaluation de l'efficacité de leur stratégie de gestion. Ils permettent aux autorités de régulation et de contrôle, de mesurer l'efficacité du service, d'opérer des comparaisons entre les différents distributeurs. Ils véhiculent, une information précise pour l'utilisateur qui, plutôt que de continuer à ressentir de manière personnelle et globale la qualité de service, détient alors des éléments quantifiables pour se construire un véritable jugement.

Un travail de fond a été engagé à des niveaux nationaux et internationaux pour définir et proposer une base commune d'indicateurs utilisables par les exploitants.

Des normes sur le service à l'utilisateur ont été éditées par l'association française de normalisation (AFNOR) et des analyses d'un éventail précis d'indicateurs de performance ont été établies par l'OFWAT (office of water service), office chargé du contrôle des compagnies anglaises de distribution d'eau. L'Allemagne, la Suisse, l'Espagne, la Malaisie et les Etats-Unis fournissent un travail normatif qui en partie alimente l'association internationale des distributeurs d'eau (IWSA), dont la mission sur ce thème est de faire converger vers une racine commune les expériences de tous les continents (Malandain, 1999).

Dans cette partie du travail entrepris, on a tenté d'élaborer un schéma ambitieux pour suivre l'évolution de l'état et du fonctionnement des systèmes de distribution d'eau potable et analyser leur fiabilité. Ce schéma proposé pourra s'adapter avec les conditions relativement particulières dans lesquelles se présentent et fonctionnent les systèmes d'alimentation en eau potable en Algérie.

V.2. Présentation des critères de performance des réseaux de distribution

V.2.1. Système d'eau potable et performance des réseaux

La fonction de base d'un réseau de distribution d'eau potable est de délivrer de façon fiable une quantité d'eau suffisante et de bonne qualité aux usagers. Cet acte demande à l'exploitant de savoir gérer à la fois la ressource en eau (protection des captages, surveillance de la qualité ...), le réseau (état structurel, ...) et l'environnement dans lequel il opère son service.

En se plaçant sur la base du service rendu, point de vue qui se trouve être le plus évident de par la fonction du réseau (Bue et all., 1992 ; Evins et all., 1990 ; Le Gauffre et all, 1996), il est possible d'isoler trois critères de performance reflétant la qualité du système (Evins et all., 1990).

- La capacité du système de distribution à assurer un débit d'eau potable suffisant, à une pression adéquate, à tous les abonnés et ceci, pendant toutes les heures de la journée (heure de pointe et heure creuse), la qualité de l'eau doit être conforme aux normes de potabilité définies par les textes réglementaires et aux exigences organoleptiques des usagers.
- La sécurité de l'alimentation qui reflète l'aptitude du réseau de distribution à délivrer continuellement de l'eau telle que décrite précédemment. Ce critère prend en compte les interruptions de service (programmées ou non programmées) mais aussi l'impact sur le développement des différentes activités en milieu urbain des dysfonctionnements du système.
- L'efficacité du système d'eau potable, traduite par le niveau de fonctionnement et l'utilisation de la ressource en eau et de l'énergie. Ce critère peut refléter la rentabilité du réseau.

V.2.2. Quelques indicateurs de performance

A l'intérieur d'un grand espace de paramètres de fonctionnement, les indicateurs de performance (tableau 52) se définissent comme les caractéristiques fonctionnelles liées au comportement du réseau d'eau potable, effectivement mesurables pour l'évaluation de ces critères.

Tableau 52: Indicateurs de performance (Agence de l'eau, 1992)

Performance du réseau	
Critère	Indicateur
Capacité	Pression disponible Débit disponible Qualité de l'eau Plaintes des usagers ...
Sécurité	Durée d'interruption Nombre de casses de conduite Nombre de dommages aux tiers ...
Efficacité	Eau non comptée, Rendement du réseau Rendement des pompes ...

Les remarques suivantes peuvent être apportées sur certains indicateurs de performance:

- Casses des conduites : Cet indicateur, exprimé en nombre ou en taux de Casses par km de conduite et par an, mesure autant un défaut structurel du réseau qu'un dysfonctionnement hydraulique et de qualité. Une casse entraîne une réduction ou une interruption de la distribution provoquant un problème de capacité du réseau. Cette situation peut se traduire essentiellement par des pertes d'eau mettant en cause l'efficacité du réseau entier. Elle se traduit aussi par la détérioration de la qualité de l'eau (infiltration dans réseau d'eau potable de l'eau usée, de substances dangereuses ...), et peut conduire également à des problèmes de sécurités et de dysfonctionnement des structures à proximité (bâtiments, autres ouvrages enterrés). Ce critère est lié fondamentalement au concept de l'état physique des conduites. La réparation d'une casse nécessite souvent l'interruption de service qui, potentiellement affecte, en plus d'un grand nombre d'usagers, la circulation automobile si la conduite est sous la chaussée. Cet indicateur important se trouve en mesure de décrire l'état physique et fonctionnel du réseau.

- Pression disponible : La mesure de la pression sur l'ensemble d'une zone desservie est particulièrement difficile à entreprendre. . Dans la plupart des cas, les exploitants font appel aux calculs par simulations hydrauliques qui renvoient, à chaque nœud du réseau, des valeurs de pression et de débit, fonction des différents régimes de fonctionnement (été/hiver, heures creuses/pleines). Ces valeurs comparées à des grandeurs standard indiquent si le service assuré est adapté aux attentes des usagers.

Il est parfois procéder à la mesure des pressions sur le réseau par l'installation d'appareils manométriques sur les poteaux d'incendie et les bouches d'arrosage. Cette technique permet de récolter suffisamment d'informations chez les réseaux suffisamment équipés de poteaux d'incendie et de bouches d'arrosage.

- Plaintes des usagers : Les plaintes des usagers peuvent être classées en trois grandes catégories : manque d'eau et insuffisance de pression, dégradation de la qualité de l'eau, apparition de pollution. Ces requêtes constituent des informations d'une grande importance pour l'exploitant. dans la mesure où elles reflètent le niveau de satisfaction des abonnés par rapport au service proposé. Par ailleurs, en absence de données nécessaires pour l'analyse du comportement du réseau, les plaintes peuvent être associées dans la recherche et l'identification des zones de basse pression ainsi que les endroits où les conduites larguent des substances modifiant la couleur et le goût de l'eau.

Des informations sur la répartition spatiale des différentes catégories de plaintes (manque d'eau et problèmes de qualité) peuvent permettre à l'exploitant d'identifier les zones problématiques de son réseau par rapport à la perception du service rendu à l'abonné (Eisenbeis, 2004). La démarche complémentaire pour comprendre le problème de manque d'eau consistera, par exemple, à vérifier les débits disponibles par simulation hydraulique. Une analyse temporelle des plaintes peut donner une image supplémentaire des problèmes structurels sous-jacents du réseau.

Il faut pourtant rester vigilant dans l'analyse de ces données issues des protestations des abonnés.

- Qualité de l'eau : La qualité de l'eau, mesurée en terme de teneur en composants chimiques et biologiques est un indicateur que l'exploitant doit surveiller et mesurer obligatoirement. Lorsque les valeurs limites, ou seuils maximums admissibles sont dépassés le responsable de la distribution d'eau alerte les autorités et la population. Les qualités organoleptiques de l'eau ne sont généralement pas soumises à des seuils ni

à des méthodes d'analyse et c'est à l'exploitant de veiller à distribuer une eau incolore, inodore et de saveur agréable.

L'indicateur de la qualité de l'eau, mis à part sa traduction sanitaire, peut être aussi une source d'informations pour présumer de l'état interne des canalisations : une eau chargée en calcaire est incrustante et provoque des dépôts dans les conduites, une eau corrosive diminue la résistance mécanique des conduites. Une eau riche en fer traduit une probable corrosion interne des conduites, corrosion qui peut induire des problèmes d'eau de couleur rouge.

- Durée d'interruption : Cet indicateur représente le niveau de sécurité d'un réseau. Il est évalué par l'estimation des distributions des temps d'intervention liés au type des travaux. Les travaux peuvent être programmables (raccordement d'une conduite au réseau) ou non programmable (réparation d'une casse sur conduite).

Dans le cas des travaux programmables, la durée de l'intervention est facilement prévisible. Cette information est d'ailleurs communiquée par le distributeur d'eau aux abonnés qui pourront prendre leurs dispositions. Dans le cas d'une intervention non programmable, les abonnés seront alertés à la dernière minute qu'une coupure d'eau pourra durer jusqu'à quelques heures.

Cet indicateur, qui traduit des discontinuités de service, constitue une aide pour l'exploitant afin de se définir une stratégie de réhabilitation du réseau. Un niveau important de cet indicateur sur certaines zones nécessite d'engager de grands travaux de fiabilisation du réseau.

Des indicateurs de type UFW (Unaccounted for water – Eau non comptée) mesurent l'efficacité de la distribution d'eau. Dans ses travaux de recherche (Houillon, 1995) a évoqué une importante nomenclature qui a conduit entre autres à définir, pour les rendements des réseaux :

- Rendement primaire

$$R1 = \frac{\text{Volume.compté}}{\text{Volume.mis.en.distribution}} \times 100 \quad (1)$$

- Rendement net

$$R2 = \frac{\text{Volume.compté} + \text{non.compté} + \text{opérations.réseau}}{\text{Volume.mis.en.distribution}} \times 100 \quad (2)$$

Et pour les indices linéaires :

- Indice linéaire de perte

$$ILP = \frac{\text{Volume.perdu.par.fuites}}{\text{Longueur.totale.des.conduites}} \quad (3)$$

- Indice linéaire net de consommation

$$ILNC = \frac{\text{Volume.compté} + \text{non.compté} + \text{opérations.réseau}}{\text{Longueur.totale.des.conduites}} \quad (4)$$

Pour une utilisation rigoureuse de ces indicateurs techniques. On doit prendre en charge même les volumes dont leur quantification s'opère par estimation forfaitaire. Les valeurs du rendement net R2 et de l'indice linéaire net de consommation ILNC sont donc à interpréter avec recul. Par contre, l'analyse temporelle de l'évolution de ces rendements et indices semble adaptée pour traduire l'amélioration ou la dégradation de l'efficacité fonctionnelle du réseau. Ils permettent de présumer d'une augmentation du débit des pertes.

Les indicateurs présentés jusqu'à maintenant ainsi que d'autres indicateurs que nous pouvons voir ultérieurement dans ce travail sont, en terme de mesure de performance, complémentaires

parfois interdépendant et quelquefois même redondant. C'est grâce à leur combinaison, leur comparaison, leur confrontation, leur contradiction que nous pouvons établir une vue plus ou moins précise du réseau. C'est d'ailleurs, les paramètres globaux quantifiables qui permettent un regard de l'exploitant et de l'utilisateur sur le système de distribution d'eau. Ces indicateurs constituent ainsi la grille de perception de l'infrastructure et d'analyse du fonctionnement du réseau.

V.3. Diagnostic technique d'un système d'eau potable

Un diagnostic technique permet d'engager une réflexion sur l'état, le fonctionnement et le comportement d'un système soumis à des événements ou certaines contraintes, et dégage un bilan sur l'état de santé de ce système. Le diagnostic évalue la gestion technique de la ressource, la satisfaction des besoins des usagers et leurs exigences ainsi que la sécurité de l'alimentation en eau potable des abonnés. Il permet de mieux connaître le système de distribution et de faire des choix quant aux correctives à prendre afin d'assurer une bonne fiabilité, d'améliorer l'état du système et d'assurer la sécurité des divers composants sensibles de ce système.

En outre, les réseaux sont constitués de plusieurs centaines voir plusieurs milliers de tronçons. Ces tronçons de conduites d'eau sont généralement enterrés et ils sont difficilement observables. Devant ces évidences, qu'il faut toujours garder à l'esprit, se situe toute la difficulté du diagnostic de ces composants de l'infrastructure. Complication générée par la taille du réseau, qui rend difficile de procéder à la vérification de l'état interne et externe de chaque conduite.

Cette complexité est générée par la multitude des phénomènes qui interagissent et qui ne pourraient être exhaustivement observés ni même prévus.

En effet, le diagnostic technique offre l'opportunité aux acteurs et en particulier, à l'exploitant, de rassembler, d'archiver et de mettre à jour les informations et les données relatives au système testé. Il permet d'établir un document de synthèse contenant le bilan de la situation actuelle.

V.3.1. Principes fondamentaux d'un diagnostic technique

L'idée maîtresse de la démarche proposée pour établir un diagnostic technique d'un système d'eau potable est basée sur l'évaluation du niveau de validation des fonctions générales que doit remplir ce système.

Cependant, tout système d'alimentation en eau potable doit être en mesure d'assurer correctement un certain nombre de fonctions, appelées fonctions générales (Brémond et al., 2002).

V.3.1.1. Présentation des fonctions générales (Brémond et al., 2002)

Fonction générale (F1) : Disposer d'une ressource durable, à court et à moyen termes en quantité et en qualité suffisantes et régénérant le plus rapidement possible.

Cette fonction impose :

- La disposition des ressources nécessaires pour satisfaire les besoins en eau potable pendant toute l'année et à long terme.
- Garantir une qualité d'eau la meilleure et la plus constante possible.
- Prévenir les risques de pénurie et de pollution.

Fonction générale (F2) : Assurer la qualité sanitaire et technique de l'eau à la prise d'eau de l'utilisateur.

Cette fonction impose :

- La disposition de moyens nécessaires pour respecter les normes de qualité et atteindre les rendements désirés.
- La constance de la qualité de l'eau distribuée et la prévision des risques de sa dégradation au cours de la distribution.

Fonction générale (F3) : Alimenter en eau potable en quantité suffisante et à une pression convenable les différents niveaux du système ainsi que les différents ouvrages et usagers.

Cette fonction impose :

- De disposer des moyens adéquats et de l'énergie nécessaire au fonctionnement du système et à la satisfaction permanente des besoins de tous les usagers.

Fonction générale (F4) : Prévision et maîtrise des dysfonctionnements pouvant survenir sur les composants principaux du système d'alimentation en eau potable.

Cette fonction impose :

- D'assurer un suivi des contraintes et de situations dangereuses.
- Le contrôle du bon fonctionnement des équipements de surveillance et de sécurité (surveillance des effets des risques naturels, dommage, défauts, mauvais états, conditions d'exploitation).
- La mise en place de protections pour éliminer les échanges entre les milieux interne et externe et assurer une bonne herméticité du système.

Fonction générale (F5) : Assurer la sécurité de l'alimentation en eau potable en cas de crises de pénurie et de pollution.

Cette fonction impose :

- De mettre en œuvre une exploitation basée sur la minimisation de l'interruption de service et assurer une marge de sécurité sur les conditions d'exploitation.
- Disposition de plans de secours actualisés pour se prémunir contre les perturbations de l'alimentation en eau.

Fonction générale (F6) : Mettre en œuvre une exploitation basée sur un suivi poussé et permanent des opérations d'entretien, des événements et de l'état du système (maintenance, réhabilitation en cas de défektivité).

Cette fonction impose :

- Une bonne coordination du personnel qualifié et expérimenté.
- L'établissement d'un planning de maintenance et de surveillance rigoureusement suivi.

- Un autocontrôle de l'exploitant dans la gestion de ses installations pour connaître les points clé de son système de distribution d'eau.

Fonction générale (F7) : Instaurer des relations étroites entre les services des eaux et les abonnés dans le cadre d'une mission de service public et œuvrer pour le développement de sa transparence.

V.3.1.2. Utilités des indicateurs techniques

Les indicateurs techniques ont pour objectif général de qualifier et d'apprécier l'état, le fonctionnement et le comportement des différents composants.

L'étude des indicateurs techniques permettra ainsi de caractériser le niveau de validation des grandes familles de fonctions que doit remplir le système d'alimentation en eau potable, et d'apprécier la qualité de gestion et de maintenance d'un ouvrage servant à effectuer un service public, ainsi que sa sécurité. L'analyse de ces paramètres concernera d'une manière générale l'ensemble des caractéristiques relatives à l'état physique et fonctionnel du système d'eau potable.

Elle portera sur :

- L'état des composants principaux du système : l'analyse de la vétusté, des défauts de conditions d'exploitation et ainsi que les lacunes d'entretien et de maintenance des équipements et des ouvrages.

- Le fonctionnement de ces composants : La cohérence et la qualité de la filière de production (ressource) et de distribution d'eau potable, ainsi que de ses conditions de fonctionnement.

V.3.2. Approches d'analyse

Deux approches d'analyse peuvent se présenter dans une étude de fiabilité d'un système d'eau potable. Une approche par fonction : les étapes principales de l'analyse seront les fonctions du système. La seconde approche, proposée dans cette partie, peut être entreprise par rapport aux importantes filières constituant le système. Deux grandes filières peuvent apparaître dans cette analyse. Il s'agit bien de :

1. Filière de la ressource
2. Filière de la distribution

Le développement de la démarche d'analyse des secteurs de la ressource et de distribution a permis d'élaborer des grands schémas directeurs sur la base desquels l'étude de la fiabilité des systèmes d'eau potable peut être réalisée.

V.3.3 Filière de la ressource en eau

Tout d'abord, on procède à l'évaluation de connaissance de cette filière. Cette évaluation doit s'effectuer sur la base des documents existants, en appréciant la qualité des informations et la fiabilité des données. On vérifie la qualité de tenue et la régularité de mise à jour de ces documents.

Par ailleurs, on doit s'assurer de la validité ainsi que le niveau de validation des points suivants :

- La satisfaction des besoins en eau potable est le point le plus important à accomplir. On s'assurera que les moyens de prélèvements en eau sont suffisants (validation de F 3).
- On doit s'assurer que la disponibilité de la ressource est adaptée aux besoins de prélèvements (validation de F 1). Cela permet d'évaluer la pérennité de la ressource face à son exploitation et ainsi prévenir des risques de pénuries
- On analyse l'état quantitatif de la ressource, pour mettre en évidence les risques de défaillances de la réserve en eau.

- Les échanges entre la ressource en eau et le milieu extérieur liés essentiellement à l'activité de l'homme et aux conditions environnementales représentent une importante source de pollution. Comme l'intégrité de la qualité de la ressource est primordiale pour l'alimentation en eau potable, on doit tenir compte des risques de dégradation de la qualité de l'eau (validation de F1), et considérer la vulnérabilité de l'approvisionnement en eau (validation de F5), en évaluant la qualité et le niveau de suivi de ces échanges dangereux. On procède à la mesure des menaces de défaillance des points de prélèvements. On fait prévoir des plans de secours et de gestion de la pénurie.

- Pour prévenir les risques de dysfonctionnements ou de défaillances, On examine l'état et le fonctionnement des ouvrages de prélèvement et de ses équipements (validation de F5). On jugera la qualité de maintenance et de gestion effectuées par l'exploitant. On évalue la qualité et le niveau d'exploitation de la ressource (validation de F6).

- On doit s'assurer de la qualité de protection de la station de pompage face aux contraintes d'exploitation et d'environnement (validation de F5). On regardera les prescriptions données sur la ressource afin de lutter contre les risques de pollution, les contraintes d'exploitation et l'efficacité des éventuels plans de secours mis en place en cas de crise de production (validation de F4). Cette protection permet d'augmenter la durée de vie des équipements et surtout minimise les interruptions de service qui sont très préjudiciables pour les usagers.

V.3.3.1 Analyse quantitative et qualitative de l'état de la ressource d'eau

L'analyse quantitative est consacrée essentiellement à la quantification de la réserve en eau. Elle permet de localiser les défaillances qui sont généralement liées à un certain nombre d'événements.

Dans le cas des eaux de surface, les défaillances éventuelles de la ressource pourront être provoquées par un déficit des apports pluviométriques par rapport aux besoins, par suite à des travaux d'aménagement du territoire ou par une surexploitation de la ressource due aux prélèvements intensifs notamment des usagers agricoles et industriels.

La mesure périodique des différentes grandeurs hydrométriques et hydrauliques caractérisant la ressource en eau de surface implique le niveau de connaissance de cette ressource (volumes disponibles, niveaux de la ressource, débits moyens annuels et débit d'étiage). Les recommandations d'exploitation doivent être respectées : il faut que les volumes prélevés ainsi que la périodicité des prélèvements soient adaptés à la capacité et à la vitesse de variation des grandeurs de la ressource.

La qualité des eaux prélevées doit faire l'objet de contrôles périodiques. L'analyse concerne les paramètres défectueux de la qualité des eaux et leur évolution. Cette opération permet de connaître les types de pollution et les mesures correctives à prendre dans la phase de traitement.

Dans le cas où la ressource est constituée de forages, l'analyse quantitative de cet ouvrage vise notamment l'évolution des côtes piézométriques des nappes. On se basera sur les études hydrogéologiques disponibles ainsi que les mesures effectuées sur des ouvrages de reconnaissance pour la quantification des apports nets en eau et le volume total disponible.

Le suivi de l'évolution de ces paramètres permet la vérification continue de la stabilité de la réserve en eau souterraine. Il devient possible de prévoir les risques de la surexploitation de la ressource. L'exploitant est appelé dans ces conditions de prévenir même les usagers et de prendre les mesures nécessaires pour poursuivre l'approvisionnement en eau des usagers.

Les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) servent de référence ou de minimum exigible concernant les prescriptions sanitaires au niveau international. Ces recommandations sont reprises au niveau national et permettent d'élaborer les textes réglementaires que doivent respecter au minimum les états concernés.

Les textes ayant trait à la qualité de l'eau de consommation définissent des exigences de qualité sur de nombreux paramètres. Ces exigences correspondent aux valeurs limites, Concentrations Maximales Admissibles (CMA), ou aux valeurs de référence, Valeur Guide (VG).

Généralement, les paramètres de la qualité des eaux potables sont regroupés en six catégories :

- Paramètres organoleptiques
- Paramètres physico-chimiques
- Paramètres indésirables
- Paramètres toxiques
- Paramètres microbiologiques
- Pesticides et produits apparentés

La qualité de l'eau est soumise à des différentes variations sous l'effet des contraintes météorologiques, hydrogéologiques ou à cause de l'existence de pollutions d'origines agricoles, domestiques ou industrielles. Le changement des caractéristiques de l'eau peut impliquer l'existence de risques pouvant porter préjudice à la santé des consommateurs ainsi que la dégradation des installations de captage.

V.3.3.2 Etat et fonctionnement des équipements

Dans cette partie de l'analyse, on procède à la présentation des démarches à suivre pour entamer une procédure d'évaluation et de contrôle de l'état physique et du fonctionnement des ouvrages de prélèvement et des installations de la station de pompage. Il sera, également, évoqué le déroulement des opérations d'entretien et de maintenance.

a) Forages

Suivi de l'état physique de l'ouvrage

Les forages sont soumis au phénomène de vieillissement traduit généralement par la dégradation de la qualité bactériologique et des paramètres organoleptiques de l'eau produite ainsi qu'une baisse de la productivité de l'ouvrage de captage. Une altération du massif filtrant ainsi que l'usure des crépines et du tubage peuvent être observées.

Le contrôle et le suivi de l'évolution de l'état général du forage exige la prise en charge des consignes techniques et recommandations suivantes:

- La disponibilité d'un certain nombre de documents propre à chaque forage, ces documents doivent constituer une source fiable de données et d'informations.

- Une fiche technique du forage comprenant essentiellement des coupes techniques de l'ouvrage
- Un dossier d'exécution de l'ouvrage comprenant l'ensemble des plans d'exécution du forage
- Une fiche de suivi où il est signalé tous les pannes, les accidents, le nombre de pompes remplacées ainsi que toutes les difficultés rencontrées avec les durées des réparations et les dates de déroulement de ces évènements.
- Une fiche de production, contenant les résultats des essais de pompage (débit, vitesses critiques, niveau dynamique critique) ainsi que toutes les caractéristiques d'exploitation actualisées (débit horaire, niveaux dynamique et statique, débit spécifique).

Une fiche technique de l'ensemble des points de captage

- Le suivi quantitatif de la production du forage ainsi que de sa productivité implique la programmation d'un certain nombre d'opération de contrôle et de vérification. Ces opérations peuvent être présentées comme suit :

- Analyse de l'évolution de la durée de fonctionnement du pompage. Cette analyse peut conduire à l'évolution de la capacité de production.

Analyse de l'évolution du débit spécifique du forage, qui représente le rapport entre le débit d'exploitation et le rabattement de la nappe.

La détermination du rabattement se fera par la mesure des niveaux statique et dynamique, après la stabilisation du débit de pompage.

▪ Le suivi de la qualité des eaux captées peut être assuré par l'analyse des éléments suivants :

- la qualité bactériologique des eaux captées : Les analyses bactériologiques sont nécessaires dans la mesure où elles nous permettent de connaître le degré de vieillissement de l'ouvrage.

la qualité physico-chimique des eaux captées : On suivra de très près l'évolution de la qualité de l'eau (couleur, turbidité, taux de MES) ainsi que la teneur en fer et en manganèse chaque fois qu'une modification importante est apportée au pompage (changement de pompe) ou au niveau de la nappe (sécheresse, création de barrages). Une coloration de l'eau peut signifier la présence de produits de corrosion.

L'évolution de la température des eaux captées est un élément indicateur de la modification de l'origine de l'eau (Gauriau et al., 1996 ; Habibian, 1992).

Le vieillissement ou la défaillance d'un forage pourra être confirmé à l'aide des signes précurseur suivants :

Tableau 53: Principaux signes de vieillissement et/ou de défaillance d'un forage
(Gauriau et all., 1996 ; Habibian, 1992)

Indices de présomption de détérioration de la partie non captante d'un captage souterrain	
Indices physico-chimiques décelables sur l'eau captée	Augmentation significative de la conductivité
	Modification de la courbe de température
	Augmentation ou diminution inhabituelle de certains paramètres (sulfates, turbidité, ...)
Indices bactériologiques identifiables sur l'eau captée	Flore bactérienne en augmentation
	Présence inhabituelle et fréquente de coliformes et streptocoques
Indices physiques observables sur l'eau pompée	Présence de particules d'oxydes métalliques ou irisation à la surface de l'eau
	Présence de particules sableuses, argileuses, calcaires ou autres n'appartenant pas à la formation captée
Indices techniques	Accrochage pendant la remontée ou la descente de la pompe dans l'ouvrage
Indices de présomption de détérioration de la partie captante d'un captage souterrain	
Indices techniques	Côte du fond de forage supérieure à sa côte d'origine
	Réduction du débit d'exploitation de l'ouvrage
	Niveau dynamique en baisse constante
Indices physiques observables sur l'eau pompée	Présence de flocons rouges ou brunâtres
	Présence permanente de matières en suspension, particulièrement de sable
	Présence de filaments de masses gélatineuses
Indices physico-chimiques décelables sur l'eau captée	Augmentation de la teneur en fer et/ou en manganèse

Suivi de l'évolution de l'exploitation du forage

L'évolution de l'exploitation d'un forage doit obligatoirement faire l'objet d'un suivi régulier. L'efficacité de ces contrôles, effectués périodiquement sur ces ouvrages de captage, est démontrée dans les possibilités offertes pour pouvoir détecter facilement les défaillances les plus courantes qui reflètent, d'ailleurs, l'état de l'ouvrage. La régularité du suivi assuré au fonctionnement du forage permettra d'éviter les arrêts brusques de l'exploitation. Les observations faites sur le fonctionnement et sur l'évolution de l'exploitation du forage doivent être enregistrées par l'exploitant.

Deux documents de base permettent un bon suivi et une meilleure gestion d'un ouvrage de captage :

- Cahier de bord : Dans cet ouvrage, l'exploitant doit enregistrer et archiver, en plus des données relatives au captage (débit, débit spécifique, niveaux statique et dynamique, ..), toutes les données relatives à l'exploitation et au fonctionnement (index du compteur d'eau, temps de fonctionnement de la pompe, volume journalier produit, débit horaire moyen, index du compteur électrique, consommation électrique par unité de volume d'eau produit).

Ce document doit contenir les incidents produits sur le forage. Les incidents observés doivent être mentionnés avec leur date d'occurrence, le matériel concernés et les opérations effectuées.

- Cahier d'entretien : Ce document doit être établi dès que l'exploitation de l'ouvrage concerné est entamée, il comporte les informations suivantes :

- Date et durée de réalisation de l'ouvrage,
- Coupe géologique réelle,
- Coupe technique de l'ouvrage,
- Technique de réalisation du forage
- Essais de pompage et travaux de développement effectués,
- Prescriptions techniques recommandées par l'hydrogéologue pour la protection du captage,
- Résultats des analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau captée,
- Diagraphies réalisées,

- Noms et coordonnées de l'opérateur ayant réalisé l'ouvrage,

Déroulement de l'entretien du forage

A fin de maintenir l'ouvrage de captage en bon état, l'exploitant doit faire appel à deux catégories d'entretien. Dans la première catégorie, il s'agira d'opérations courantes d'entretien et dans la deuxième catégorie, on prévoit de grandes opérations d'entretien (AGHTM, 1995 ; Le Gauffre et all., 1996 ; Malandain, 1999).

Les entretiens courants visent à :

- Assurer l'étanchéité et la propreté des la robinetterie et accessoires,
- Garder accessible l'ouvrage et ses installations,
- Aération de labri du forage et des chambres de manouvre.

Les grandes opérations d'entretien nécessitent l'arrêt de l'exploitation. Les opérations prévues lors de cet entretien sont définies en fonction des observations et des résultats des différents contrôles périodiques effectués sur l'ouvrage. Ces entretiens visent:

-Lutter contre le phénomène de vieillissement en procédant à :

- un nettoyage intensif
 - un curage
 - une chloration
 - un dessablage
 - un pistonnage
 - un décolmatage
- Lutter contre les grosses avaries probables en assurant la réhabilitation du tubage et les crépines,

Contrôles annuels du forage

L'exploitant doit vieillir à ce que les contrôles suivants soient réalisés:

Chaque année :

- Vérification du débit et du rabattement du forage par l'exécution des mesures de débit, de débit spécifique et le traçage de la courbe de rabattement,
- S'assurer de l'étanchéité de l'abri du forage, de l'absence d'animaux dans le réceptacle, de l'absence de fissures dans la maçonnerie, du bon état des ouvertures d'aération,

- Réalisation des analyses physico-chimique et bactériologique de l'eau du forage
- Contrôle de l'efficacité de la protection des équipements de captage (protection cathodique)
- Protéger le captage en interdisant toute activité dans le périmètre de protection susceptible de porter atteinte à l'environnement.

Tous les cinq ans :

- Vérification de l'état général de l'ouvrage,
- Examiner l'utilité et le besoin de revoir la périodicité et la fréquence des contrôle et cela en fonction de l'âge et l'état physique de l'ouvrage,
- Examen de la colonne de refoulement et de l'état du tubage par diagraphie.
- Mesurer le fond du captage.

b) Pompes

Dans les systèmes d'alimentation en eau potable, les pompes immergées sont considérées comme le moyens le plus pratique et le plus efficace pour le refoulement des eaux. Ces pompes présentent l'avantage de permettre à l'exploitant d'exploiter les forages de grandes profondeurs et l'eau refoulée peut être surélevée vers de grandes hauteurs. Les pompes de surface sont prévues souvent dans les stations de pompage depuis des bâches ou des bassins d'accumulation. Elles ne sont utilisées que rarement dans les captages souterrains.

Analyse des pompes et des stations de pompage

Pour assurer une gestion technique efficace des différentes stations de pompage, la collecte d'informations et de mesures relatives à tout le système de pompage d'eau potable se fait dans un document technique spécifique dans lequel sont enregistrées toutes ces informations. Les éléments essentiels de ces informations techniques sont comme suit :

- Schémas électriques des installations de pompage,
- Fiches techniques des pompes : Ces fiches techniques sont considérées comme des documents techniques de base établis par le constructeur. Elles contiennent : les plans d'assemblage nécessaires, les plans d'encombrement, la notice de mise en marche et d'entretien avec la technique d'amorçage, la notice des règles de sécurité, les recommandations sur la manutention des pompes ainsi que la déclaration de conformité de la pompe par le constructeur.

- Cahier de schémas techniques de montage et de démontage avec pièces de rechanges préconisés,
- Graphiques représentant les courbes caractéristiques des pompes,
- Liste des conseils d'utilisation et des recommandations d'entretien préventif et de révision
- Cahier d'inventaire des principaux incidents de fonctionnement : Ce document rassemble les incidents connus classés par date en précisant la cause et le remède pour chaque cas.

Le suivi technique du fonctionnement des pompes et les rendements de celle-ci exige du gestionnaire la réalisation d'une étude consacrée aux différents paramètres techniques des pompes. Ces paramètres peuvent se présenter comme suit (Brémond et all., 2002 ; Mouhica, 1995):

1) Rendements des pompes

L'étude des rendements caractéristiques de l'état des pompes peut être abordée. Il s'agit principalement des deux rendements suivants :

Le rendement énergétique d'une installation est défini comme suit :

$$\eta_e = \frac{\rho g * Q(m^3/s) * Hmt(m) * T(h)}{Energie(Wh)} = \frac{Vp * Hmt}{367 * W(T)} \quad (5)$$

V_p est le volume pompé (m^3),

T est le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe,

H_{mt} est la hauteur manométrique totale (m),

W est l'énergie consommée par la pompe (Wh).

Le rendement global de la pompe η_{gp} est défini de la manière suivante:

$$\eta_{gp} = \frac{P_n}{P_{ap}} = \frac{\varpi * Q_r * H_n}{100 * P_{ap}} = \frac{1000 * Q_r * H_n}{102 * P_{ap}} \quad (6)$$

Q_r est le débit de refoulement de la pompe (m^3/s)

ϖ est le poids volumique de l'eau (daN/m^3)

H_n est la hauteur nette d'élévation de la pompe (m) et est égale à H_{mt}

Pap est la puissance sur l'arbre de la pompe (kW) et correspond aussi à la puissance sur l'arbre du moteur.

2) Evolution des hauteurs et des rendements

Une comparaison des courbes de caractéristiques réelle et théorique de la pompe à partir des couples (Q_r , H_n).

L'évolution annuelle du point de barbotage permet de vérifier l'usure de la pompe et les problèmes de fuites. Cette comparaison conduit à des résultats plus fiables que la mesure du point de fonctionnement à cause des incertitudes dans la mesure du débit.

Les ratios traduisant l'évolution du rendement et de la vétusté de la pompe doivent être analysés. Ces ratios se présentent d'une part, comme le rapport R1 entre le débit de pompage réel Q_{pr} et le débit nominal de la pompe Q_{pn} . D'autre part, c'est le rapport R2 entre L'âge de la pompe et la durée de celle-ci.

Le ratio R1 associé au rendement est considéré comme un indicateur de vieillissement de la pompe. Le ratio R2 indique si la pompe testée est appelée à être remplacée.

3) Influence des paramètres d'exploitation sur le fonctionnement et la durabilité de la pompe

Les ratios suivants doivent être analysés et certaines recommandations à respecter pour maintenir un niveau valable de performance des installations de pompage.

- Temps de fonctionnement : Ce paramètre est représenté par le rapport entre le volume pompé journallement et le débit horaire de la pompe. Il est généralement calculé pour différents cas de débits. Il s'agit de débits de pointe et de débits moyens sur la journée, sur le mois et sur l'année.

Pour un forage, hormis les avantages que présente le pompage continu, il y a lieu de craindre la permanence du cône de rabattement et le risque d'une éventuelle surexploitation.

- Démarrages des pompes: Le nombre de démarrages par heure de chaque type de pompe est fixé et fourni par le constructeur. Ce paramètre représente un seuil que l'exploitant ne doit pas dépasser.

- Disponibilité de la pompe : Les conditions de fonctionnement et le vieillissement des installations de pompage sont des facteurs essentiels dans l'apparition de défaillances. Le nombre de défaillances par unité de temps N , la durée moyenne entre deux défaillances d permettent de déterminer le facteur de la fiabilité/

$$F = e^{-Nd}$$

La disponibilité D de la pompe se calcule par la relation :

$D = d / (d + Tr)$, où Tr est le temps moyen d'une réparation (Deb, 1994).

4) Entretien visuel de l'état de la pompe

Des opérations annuelles et pluriannuelles d'entretien doivent être consacrées à la vérification des points sensibles de la pompe afin de prévenir les défaillances. Ces opérations concerneront essentiellement le contrôle régulier de l'état des paliers l'étanchéité de la pompe au niveau de son axe.

On préconise un démontage de la pompe en faisant remplacer celle-ci par une pompe de secours. Un diagnostic sur l'état des composants ainsi que du fonctionnement de la pompe est envisagé pour connaître le niveau de l'usure des roues, des aubes, du diffuseur des bagues et des roulements. Cette opération permet également de d'observer le degré de la corrosion générale de la pompe.

V.3.3.3 Sécurité des installations

La sécurité des ouvrages de captage et leurs équipements est prise en charge par l'exploitant grâce à la mise en œuvre d'un suivi permanent de l'évolution des comportements de ces installations par rapport à des contraintes d'exploitation et d'environnement. Outre l'intérêt donné à la conception et à l'emplacement des ouvrages de prélèvement, les systèmes de secours adoptés doivent être testés et actualisés pour atteindre, dans un premier temps, l'objectif d'une meilleure prévision des défaillances les plus courantes et surmonter les difficultés d'exploitation. Dans un second temps, programmer et hiérarchiser les opérations de renouvellement des équipements de captage pour assurer la fiabilité et la pertinence de l'ouvrage.

a) Forage et équipements

Les différents facteurs naturels d'exploitation et de confection se combinent pour générer le phénomène de vieillissement et la dégradation des forages ainsi que et leurs équipements. Outre la multitude de facteurs naturels, le colmatage, la corrosion, la mauvaise pose ainsi qu'une exploitation dépassant le régime de renouvellement peuvent être les causes essentielles d'une dégradation et d'un vieillissement rapide de l'ouvrage.

Le colmatage des forages se manifeste généralement par :

- l'entartrage de la crépine, des drains du forage
- les dépôts calciques ou ferrugineux,
- l'action de la vitesse d'écoulement, la pression et l'aération,
- l'action de la fréquence élevée des démarrages du pompage,
- un développement bactérien entraînant la précipitation de $\text{Fe}(\text{OH})_3$ à partir de Fe^{2+} présents dans les eaux (colmatage biologique).
- l'accumulation des argiles, limons, sables fins, due en général au mauvais choix de l'ouverture de la crépine et à un pompage excessif et incontrôlé du captage (colmatage mécanique).
- l'existence de filaments ou de flocons gélatineux dans l'eau captée. Les masses gélatineuses se développent et se déposent et obstruent les arrivées d'eau. Ce phénomène est le résultat de crues, de la sécheresse, des aménagements hydrauliques modifiant les conditions du milieu ainsi que d'une surexploitation prolongée (colmatage bactérien).

Ces facteurs et conditions entraîneront la diminution des ouvertures de la crépine et par conséquent, la réduction de la productivité de l'ouvrage.

La corrosion est la principale cause du vieillissement des forages. Elle finit par la destruction de l'ouvrage après la fragilisation de son tubage. L'ouvrage de captage connaît ainsi une réduction sensible de sa durée de vie.

La corrosion trouve son origine dans les conditions suivantes:

- Une eau captée agressive (eau peu minéralisée). L'intensité de la corrosion dépend du degré de neutralité du matériau constituant les installations vis-à-vis de l'eau pompée.
- l'agressivité du terrain,

- le développement bactérien,
- Une vitesse élevée du passage de l'eau à travers la crépine peut conduire à l'abrasion et à l'élargissement des perforations de la crépine. Les vitesses de passage préconisées doivent être inférieures à 3 cm/s.

L'ensablement est considéré comme un pont d'intersection de plusieurs phénomènes. Il peut conduire également à plusieurs types de dégradation de l'ouvrage. L'ensablement favorise la corrosion, l'abrasion et le vieillissement de la pompe ainsi que la dégradation de la qualité de l'eau pompée. L'exploitation intensive, la mauvaise conception de l'ouvrage sont souvent les causes connues de l'ensablement.

▪ Défaillances liées à l'exploitation :

Elles sont dues soit à une exploitation excessive et incohérente par rapport à la capacité de production de l'ouvrage, soit à une exploitation inadaptée aux caractéristiques de l'ouvrage (non respect des conditions de niveau dynamique). Le premier cas entraîne une extension du cône de rabattement, le dénoyage de la crépine ou une augmentation de la vitesse de pompage. Le second entraîne un dénoyage et un colmatage.

La sécurité des forages sera accrue par la vérification ou la maîtrise des points suivants :

✦ A l'ouvrage

- **l'existence d'un dispositif anti-colmatage dans les forages à risque (aquifère sédimentaire fin) : adéquation au terrain, ouvertures de la crépine.**
- l'existence d'un soutènement des forages profonds en sous-sol dur.
- l'existence et la vérification de l'étanchéité de la cimentation du tubage pour éviter l'infiltration d'eaux polluées superficielles (bon état du presse-étoupe).
- la verticalité du forage
- la mise en place d'un massif de développement pour augmenter la filtration et diminuer le risque d'ensablement.
- la fréquence d'entretien et de maintenance de l'ouvrage : nettoyages de l'ouvrage (pompage pneumatique double colonne), surpompage, pompage saccadé, (traitement mécanique), traitement contre les dépôts à l'acide (calcaire) ou aux polyphosphates (décolmatage des argiles, dissolution du fer), désinfection contre le développement biologique,

- les facteurs déclenchant des opérations d'entretien : dégradation de la qualité de l'eau (coloration, particules fines), diminution notable de la capacité de pompage.

✦ A l'interaction entre l'eau et le matériau

- la présence de traces notables de corrosion, d'entartrage
- la mise en évidence d'un développement bactérien (fer)
- la neutralité de la crépine et du tubage vis-à-vis de l'eau

✦ L'exploitation de l'ouvrage

- l'existence d'un dispositif d'alerte en cas de risque de dénoyage de la crépine ou du dépassement du rabattement autorisé et du débit critique de pompage.
- le contrôle du débit de prélèvement et de la vitesse d'entrée de l'eau dans la crépine : il faut s'assurer du non dépassement du débit critique.
- la pertinence du type et de la localisation du point de prélèvement, pour s'assurer qu'il est bien adapté au terrain et/ou à la ressource.

b) Pompes et station de pompage

La sécurité des pompes et de la station de pompage doit être assurée notamment par l'existence d'une redondance des équipements principaux. Les points et les composants soumis aux contrôles et aux vérifications sécuritaires sont :

- la puissance des transformateurs et leur aptitude à assurer la fourniture régulière de l'électricité,
- les groupes électrogènes présentent l'unique autre alternative d'alimentation électrique des stations de pompage. Les contrôles se font sur la base des informations contenues dans les documents suivants :
 - Plan d'implantation du groupe
 - Schémas électriques à jour,
 - Fiche d'essais du groupe,
 - Contrat de maintenance et de garantie,
 - Fiches techniques de l'appareil,
 - Fiches d'entretien et de suivi du groupe
 - Cahier d'exploitation et de mise en marche du groupe : ce document doit décrire d'une part, les méthodes à suivre lors du basculement de l'inverseur

du temps normal au cas de secours. D'autre part, la périodicité des contrôles et des vérifications notamment, le démarrage des systèmes d'alarme et le dispositif signalant un défaut de démarrage.

- Les dysfonctionnements les plus rencontrés sont provoqués souvent par les perturbations de tension. Par mesure de sécurité, il est recommandé de mettre en place :

- un disjoncteur différentiel à démarrage automatique,
- une protection contre les surcharges,
- un dispositif contre les court-circuits qui est traduit par la dotation de l'alimentation électrique d'un disjoncteur moyenne et haute tension,
- un système de protection contre les échauffements du moteur grâce à dispositif de limitation du nombre de démarrages Et fixant le nombre de démarrages horaires pour chaque type de pompe.
- une protection contre la cavitation et le dénoyage qui consiste à contrôler la pertinence du dispositif d'alerte contre le dénoyage, ou les dépassements des niveaux maximum autorisés. Pour éviter la cavitation, on préconise un débit de fonctionnement inférieur à 80% du débit de cavitation.

- La sécurité par rapport à l'écoulement et aux variations de la pression. L'apparition des phénomènes transitoires tels que le coup de bélier est très préjudiciables à l'ensemble des équipements notamment les pompes et les accessoires de mesure. Les dommages provoqués par ce phénomène peuvent engendrer des coûts de maintenance notables et des perturbations importantes au niveau de la distribution (interruption du service chez l'utilisateur, perturbation de l'écoulement due à l'entrée d'air associé à un risque de cavitation de pompes, dégradation de la qualité de l'eau due à la rupture d'une conduite et à l'entrée d'eaux sales dans le système). De plus, ce phénomène contribue au vieillissement et à la fragilisation des conduites. A cet effet, la sécurité des installations de pompage et d'adduction d'eau doit être assurée par la mise en œuvre d'un certain nombre de mesures et de protections. Parmi ces protections indispensables que l'exploitant doit envisager, on peut citer :

- Protections contre les coups de Bélier :

Le mouvement oscillatoire de l'eau observé pendant la production du phénomène de coup de bélier se caractérise par l'apparition de deux grandes contraintes infligées aux conduites et aux installations de pompage:

- une surpression : pouvant provoquer l'éclatement ou l'éventration de la conduite de refoulement,
- une dépression : au cours de laquelle, il peut se produire l'effet de collapsus dans la conduite. De plus si la dépression créée se situe à proximité de la station de pompage, on peut craindre une cavitation, entraînant un risque de détérioration des installations de pompage.

La première action à mener pour protéger le système de ce phénomène c'est de procéder au choix du dispositif de protection à mettre en place pour lutter contre les dangers provoqués par le coup de bélier, tout en s'assurant de la convenance du dispositif choisi par rapport aux caractéristiques du coup de bélier contre lequel on essaie de se prémunir. Par ailleurs, la compatibilité du domaine d'emploi de l'appareil par rapport des conditions de fonctionnement est fortement recommandée.

Les quatre grands types de protection anti-bélier disponibles sont:

- Pompe en turbine, aspiration auxiliaire, pompe en charge,
- Cheminée d'équilibre,
- Volant d'inertie,
- Appareils à compression d'air (ballon anti-bélier).

La convenance du dispositif anti-bélier choisi par rapport aux caractéristiques du coup de bélier pouvant se produire doit faire l'objet d'un calcul informatique réfléchi. Le cas le plus simple qui peut se présenter, c'est lorsqu'une conduite de diamètre et de célérité constants ayant une extrémité débouchant dans un réservoir à la pression atmosphérique ou déversant à gueule bée.

Selon le type de protection, l'exploitant doit veiller à ce que les opérations suivantes soient entreprises de façon régulière et rigoureuse :

- Pour les protections du type pompe en charge, en turbine, aspiration auxiliaire, On contrôle l'état de la tuyauterie et des divers équipements

hydrauliques associés. On doit assurer également le bon fonctionnement des équipements du système de protection.

- Pour les protections classiques, deux types de dispositifs anti-bélier peuvent être mis en place:

Un dispositif Air/Eau (sans vessie) : cet appareil doit obligatoirement être relié à un compresseur à air en raison des pertes d'air dues à la dissolution de l'air dans l'eau.

Un dispositif Air / Eau (avec vessie).

Les opérations de contrôle et de maintenance dans le cas d'une protection classique ainsi que leur périodicités sont présentées dans le tableau 54 (Deb, 1994 ; Eisenbeis, 2004).

Tableau 54: Description et périodicités des contrôles par type d'appareil

Type d'appareil	Périodicité des contrôles	Description des contrôles effectués
Air / Eau (sans vessie)	Une fois par mois	<ul style="list-style-type: none"> ■ Appareil équipé d'une commande automatique du compresseur : <ul style="list-style-type: none"> - vérifier le niveau de l'eau par le tube transparent, - contrôler au compteur horaire, le temps de fonctionnement de compresseur (1 heure maximum). ■ Appareil non équipé d'une commande automatique : <ul style="list-style-type: none"> - vérifier le niveau de l'eau par le tube transparent, - contrôler l'étanchéité de toutes les parties en liaison avec l'air, - compléter par de l'air comprimé si nécessaire.
	Une fois par an	<ul style="list-style-type: none"> ■ Manœuvre de la vanne d'isolement (étanchéité, fonctionnement, graissage). ■ Vérification des fuites d'air.
Air / Eau (avec vessie)	Deux fois par an	<ul style="list-style-type: none"> ■ Dans tous les cas : <ul style="list-style-type: none"> - contrôle de l'étanchéité de toutes les parties en liaison avec l'air. ■ Appareil avec monture de niveau <ul style="list-style-type: none"> - vérification du niveau avec le tube transparent ou le tube à volets magnétiques, - manœuvre de la vanne d'isolement pour contrôler l'étanchéité, le fonctionnement et le graissage. ■ Appareil sans monture de niveau <ul style="list-style-type: none"> - vérification de la pression de prégonflage suivant la procédure détaillée ci après.

La procédure de vérification de la pression de prégonflage dans le cas d'une absence de monture de niveau se déroule comme suit :

① Mise à l'arrêt des pompes,

② Fermeture de la vanne d'isolement du réseau et vérification de son étanchéité et de son fonctionnement,

③ Vidange complète de l'eau contenue dans le réservoir,

④ Vérification de la pression de prégonflage sur le manomètre.

Si nécessaire, on regonfle à l'azote en prenant bien soin de supprimer les fuites existantes.

⑤ Vérification de l'état de la membrane en ouvrant et en refermant rapidement la purge sur la partie basse du ballon. Si de l'eau s'échappe de cette purge, la membrane est à remplacer. Cependant, si le ballon est gonflé à l'air il peut s'échapper une petite quantité d'eau due à la condensation qui n'a rien à voir avec l'étanchéité de la membrane.

⑥ Réouverture lente de la vanne d'isolement,

A fin d'assurer un bon niveau de fonctionnement et de fiabilité au système de protection anti-bélier, les dispositifs doivent subir les contrôles nécessaires suivant une programmation préétablie.

Cependant, la réalisation des opérations de contrôles et de vérifications nécessite dans tous les cas, l'existence d'un dossier regroupant tous les documents techniques et les informations sur les différents équipements, contenant :

- les schémas électriques des installations,
- les fiches techniques et
- les notices d'entretien et de recommandations à respecter.

Un registre de suivi, de visite et d'entretien doit être prévu. Dans ce document sont mentionnées:

- Toutes les opérations d'entretien effectuées, avec la date et la fréquence de chaque opération,

- Toutes les pannes et anomalies survenues au cours de l'exploitation,
 - Des constatations sur la qualité de la maintenance et des entretiens.
 - Le comportement des pièces maitresses du système soumises généralement à des grandes contraintes préjudiciables, et la qualité des pièces de remplacement,
- Dans le cas où la protection est du type Appareils à compression d'air, la sécurité de cet appareil est assurée de la même manière que pour le dispositif classique. Le bon niveau d'entretien et de maintenance, la disponibilité des informations et des caractéristiques techniques ainsi que l'existence des différents documents et fiches techniques et de suivi font que le système est à l'abri des risques de dysfonctionnement.

Protections contre les coups de clapet :

Un coup de clapet peut contribuer à la détérioration des équipements de pompage et de mesure. Lors d'un arrêt brusque de la pompe et au cours de l'apparition du coup de bélier, le phénomène du coup de clapet peut surgir causant la dégradation du clapet même et des autres installations hydrauliques. A cet effet, des types spécifiques de clapet sont recommandés dans les endroits à risque, tels que le clapet Hydrostop et Clasear.

Protections contre les poches d'air :

L'existence de points hauts dans la conduite conduit à la formation de cantonnements d'air qu'il est impératif de l'évacuer. Ces cantonnements, par leur évolution constituent les poches d'air et impose à l'exploitant de procéder à la mise en place de ventouses sur tous les points hauts du réseau. En effet, la formation de poches d'air être très préjudiciable à la continuité de l'écoulement de l'eau dans les conduites, notamment à l'endroit des coudes. De plus, la circulation d'air dans les conduites peut provoquer des phénomènes de cavitation au niveau des pompes et les détériorer. Le passage de la poche d'air provoque une variation brutale de pression, entraînant la création d'un coup de bélier.

Ces poches peuvent être également à l'origine de corrosions notamment dans les conduites en acier. Il faut être sûr qu'il n'y a pas d'introduction d'air dans le réseau et que les dispositifs d'évacuation d'air fonctionnent bien.

Protections contre le risque de déboîtement :

La solution généralement préconisée pour éviter le déboîtement des conduites, notamment à l'endroit du coude est la mise en place de butées en béton ou en mortier de ciment. Un déplacement dommageable de la conduite aux endroits à risques peut se produire simultanément au phénomène du coup de bélier. Un système de serrage mécanique à l'endroit du déboîtement peut également protéger la conduite.

V.3.3.4 Vulnérabilité de la ressource

Nombreux sont les facteurs vulnérables qui peuvent affecter la ressource en eau. Ces facteurs peuvent, d'une part, altérer la qualité des eaux produites et d'autre part conduire à un tarissement de la réserve en eau.

Devant ces risques de dégradation qui entourent la ressource en eau, tout d'abord, par rapport à l'environnement et puis par rapport aux différentes contraintes liées à l'exploitation, l'exploitant doit mettre en évidence tous les indices qui permettent d'évaluer l'aptitude de la ressource à assurer sa protection face notamment, à l'infiltration d'une pollution et sa capacité à l'effacer. Ces indices doivent montrer également les risques de dégradation de la qualité de l'eau et de tarissement de la réserve en eau qui pèsent lourdement sur la ressource. et les protections réglementaires et physiques créées par l'homme dans le but de la protéger contre ces risques. Quelle que soit le type de la ressource, il est fortement recommandé que le régime d'exploitation et les disponibilités de cette ressource soient systématiquement analysés afin de prévenir de toute surexploitation de celle-ci. Ces analyses permettront d'évaluer la pérennité de l'approvisionnement en eau et la capacité de la ressource à satisfaire la demande en eau potable.

- a) Vulnérabilité de la ressource par rapport à l'inadéquation du régime d'exploitation

Captages d'eau souterraine :

Dans la quasi-totalité de la région étudiée, le captage des eaux souterraines destinées à l’approvisionnement en eau potable des populations se fait généralement à l’aide de forages. D’autres ouvrages, tels que les systèmes de captage des sources sont très rarement rencontrés dans les prélèvements des eaux souterraines, notamment celles des nappes peu profondes et des nappes alluviales.

Parmi les types d’ouvrages de captage fréquemment utilisés dans cette région pour l’alimentation en eau potable, figurent :

- les forages peu profonds : captant la nappe peu profonde, ces ouvrages sont souvent assez vulnérables et sont sensibles aux fluctuations de niveau de la nappe. Les opérations de réfections et de réhabilitations que connaissent ces ouvrages représentent un indicateur de l’inadéquation de ceux-ci par rapport l’aquifère captée ou aux besoins à couvrir.

- les forages profonds : Ils permettent de capter à des grandes profondeurs, des niveaux aquifères bien précis et individualisés. De plus, ils offrent une excellente sécurité contre les pollutions de surface.

Parmi les indicateurs techniques de la fiabilité de la ressource, on peut citer les ratios IR1, IR2, IR3 et IR4 permettant de définir l’inadéquation de la ressource aux besoins en eau (AGHTM, 1990 ; Besson, 1992 ; Bittner et all., 1995).

$$IR1 = V_{\text{prélevé}} / V_{\text{disponible}}$$

$$IR2 = Q_{\text{prélevé}} / Q_{\text{critique}} \quad (7)$$

$$IR3 = Q_{\text{max-pompage}} / Q_{\text{max-autorisé}}$$

$$IR4 = Q_{\text{max-autorisé}} / Q_{\text{prélevable}}$$

$V_{\text{prélevé}}$: Volume d’eau prélevé

$V_{\text{disponible}}$: Volume d’eau disponible à la ressource (volume théorique qu’il est possible de prélever sur une période déterminée)

$Q_{\text{prélevé}}$: Débit de prélèvement

Q_{critique} : débit critique de l’ouvrage (correspond à l’amorce d’un régime turbulent, néfaste pour l’ouvrage de captage)

$Q_{\text{max-pompage}}$: Débit maximum du pompage

$Q_{\text{max-autorisé}}$: Débit maximum de prélèvement autorisé

On s'assure que le ratio IR1 est inférieur à un ($IR1 < 1$), vis-à-vis des volumes $V_{\text{disponible}}$ donnés pour l'année de pointe. Dans le cas contraire, l'exploitant procédera à programmer la réalisation d'un forage supplémentaire pour l'année qui va suivre.

Pour le jour de pointe, le volume prélevé $V_{\text{prélevé}}$ devra être inférieur au volume maximum journalier autorisé ($Q_{\text{max-autorisé}}$) (IR3).

Pour chaque forage, il faut que le ratio IR2 soit inférieur à un ($IR2 < 1$). Cette condition permet de mettre le forage à l'abri de l'introduction de matières en suspension (MES) dans l'eau brute. Elle permet également de protéger le massif de développement du forage servant de filtre naturel.

Il est également recommandé de maintenir le ratio IR3 est inférieur à un ($IR3 < 1$).

Captage des sources:

Pour ces types de ressources, le ratio IR4 peut être défini comme suit:

$$IR4 = Q_{\text{max-autorisé}} / Q_{\text{prélevable}}$$

Avec,

$Q_{\text{max-autorisé}}$ est le débit maximum de prélèvement autorisé (en m^3/h ou en m^3/j),

$Q_{\text{prélevable}}$ est le débit naturellement disponible de la ressource,

Le ratio IR4 doit être nettement inférieur à l'unité ($IR4 < 1$) ce que traduit que durant toute l'année, le débit de prélèvement autorisé est bien inférieur au débit prélevable. Dans la plupart des cas, le débit de prélèvement fait l'objet de restriction pendant la période d'étiage.

Par ailleurs, la consigne essentielle que l'exploitant doit prendre en charge est la vérification, à long terme, de la stabilité de la ressource. Les contrôles se font par le suivi de l'évolution annuelle des volumes disponibles, des niveaux statiques et dynamiques des forages. Ils permettent, ainsi de prendre en considération les problèmes d'éventuelle surexploitation de la ressource. Cependant, une baisse importante de ces grandeurs sur une année d'exploitation constitue une alerte sur la proximité de problèmes d'approvisionnement en eau.

Le suivi permet également de mettre en évidence la cohérence de l'exploitation de la ressource face à sa capacité de production et sa disponibilité.

b) Par rapport à son environnement

Les risques environnants susceptibles de porter préjudice, notamment à la ressource en eau peuvent se présenter en fonction de :

- La protection naturelle existante : Face aux différents risques environnants, et pour définir les zones pouvant générer une ou plusieurs pollutions qui atteindront le point de captage, on se base sur la localisation des sites polluants et la carte hydrogéologique. Par exemple, Pour un forage, ce sera l'ensemble des points de rejets des eaux usées d'origine domestique, industrielle et pluviale dans un rayon d'environ dix kilomètres.

Une zone de dangers de pollution à chaque ouvrage de captage sera définie pour chaque type d'activité ou de phénomène polluant (activité urbaine : station d'épuration, rejet domestique, activité agricole : zone de culture intensive, activité industrielle : rejet industriel...).

- L'importance du degré de la pollution : Pour les ressources d'eau souterraine, la définition du degré d'une pollution se fait par la mise en évidence des points suivants:

- La capacité de la ressource à s'auto épurer et son pouvoir d'éliminer les contaminants. Elle dépend de la capacité de rétention de la zone non saturée (ZNS). Cette zone est déterminée par la structure du sol, notamment sa porosité, son teneur en argiles et son pH ainsi que la teneur en eau de la ZNS (réduisant la capacité de rétention et influant sur la pénétration du polluant), et son potentiel de dégradation bactérienne. La rétention d'un polluant est fonction de sa charge, de sa nature et de la teneur en argile du sol. Les pesticides sont peu hydrosolubles et en l'absence de macroporosités, ils se trouvent rarement dans les eaux souterraines.

- La proximité du site polluant par rapport au point de captage,

- Le temps d'exposition de la ressource à la pollution (exposition permanente ou temporaire),

- La disponibilité et la qualité du plan de secours en cas d'apparition de la pollution. La qualité et l'efficacité de ce plan sont testées par:

- les possibilités présentées le plan de secours et sa capacité à maîtriser la progression d'une pollution compte tenu des durées et des temps suivants :

- ① Temps d'avertissement qui estime la durée entre le moment de l'incident et celui où l'exploitant est averti,
- ② Temps d'analyse et de réflexion qui présente la durée nécessaire à l'exploitant pour analyser la situation,
- ③ Temps de réaction qui constitue la durée nécessaire à l'exploitant pour engager les actions indispensables et prendre les mesures qui s'imposent pour compenser l'indisponibilité de la ressource et arrêter la pollution.

- l'existence de fiches sur les procédures et les conseils pour la gestion des crises de pollution,
- la capacité à maîtriser la concentration de la pollution à la sortie de la ressource par la mise en place d'une barrière d'étanchéité par pompage, par tranchée de protection ou par mélange avec l'eau d'une autre ressource.

- La protection artificielle mises en place contre les effets environnants.

La protection des ressources en eau est indispensable afin d'assurer la pérennité de l'exploitation et la constance de la qualité de l'eau. La protection artificielle la plus importante que l'exploitant doit mettre en place sur les ressources est les périmètres de protection. Par rapport à leurs implantations, plusieurs types de périmètres peuvent être rencontrés :

- Périmètre de protection immédiate : Ce périmètre a pour objectif principal de mettre les ouvrages de prélèvement à l'abri des risques de détérioration. Il empêche la pénétration et l'infiltration des substances polluantes dans les ouvrages protégés par l'interdiction des déversements dans le périmètre.
- Périmètre de protection rapprochée : Vise la protection efficace de l'ouvrage de captage vis-à-vis de la migration des substances polluantes. Sa délimitation dépendra des durées et vitesses de transfert de l'eau, du pouvoir épurateur du sol et du sous-sol, et du pouvoir de dispersion de l'eau.
- Périmètre de protection éloignée : Ce périmètre est défini de manière à assurer un temps de transfert suffisamment long permettant de donner le signal d'alerte et d'envisager un plan d'intervention.

L'existence de ces périmètres est accompagnée de documents qui leur sont associés. Les états de ces périmètres sont soigneusement détaillés dans ces

documents et les prescriptions qui leur sont imposées doivent être bien respectées.

Par ailleurs, l'expérience de plusieurs années de gestion technique des systèmes d'alimentation en eau potable dans différents pays a montré que quatre phases de la vulnérabilité de la ressource peuvent être définies:

Première phase:

- La ressource se trouve dépourvue de toute protection,
- Présence d'une simple clôture délimitant le périmètre de protection immédiate,
- Absence d'expertise géologique du périmètre immédiate
- Transformation du site en de zone dépôt ou de pacage.

Seconde phase:

Dans cette phase une protection minimale peut avoir lieu par la mise en place de moyens et dispositifs tels que :

- Une protection réglementaire minimale,
- Expertise géologique de ce périmètre,
- Une notification que périmètre devra être vierge de tout usage,
- Existence de moyens d'entretien,
- Existence de dispositif de lutte contre les intrusions de personnes (clôture de hauteur suffisante, avec un panneau indicateur),
- Tête de forage cadenassée,
- Existence d'un dispositif anti-intrusion d'eau de ruissellement et de crues.

Troisième phase:

Cette phase correspond à une protection de type A. Elle est caractérisée par :

- L'existence d'une protection réglementaire,
- L'existence d'un local de captage clos, étanche et surveillé en permanence,
- Des contrôles périodiques par l'exploitant des activités de ces zones.

Quatrième phase:

Il s'agit d'une protection de type B pour assurer la sécurité de la ressource notamment le captage des eaux souterraines. Cette protection est assurée par :

- L'implantation et la localisation du champ captant se font en amont ou en retrait des principales sources potentielles de pollution ou de dégradations,
- L'existence d'un plan d'alerte et des moyens de communication et d'information rapides dans les zones à risques,
- L'existence d'équipements de surveillance de la qualité de l'eau,
- La dotation du périmètre de dispositifs de mesure et de suivi des variations du niveau de la ressource,
- L'existence d'un système de surveillance de la qualité des eaux souterraines, par le prélèvement périodique d'échantillons d'eau en différents points de l'aquifère,
- L'existence d'un contrôle permanent des rejets des sites polluants et la modification éventuelle des autorisations de ces rejets.
- Le développement d'actions de prévention portant sur l'inventaire et l'analyse des risques de pollution
- La mise en place d'un dispositif de surveillance et d'alerte,
- L'établissement d'un plan d'intervention en cas de grande pollution accidentelle.

- L'intensité du danger.

Des phases de vulnérabilité propre de la ressource peuvent être définies en fonction des types d'environnement. Ces dernières sont présentées, à titre indicatif dans le tableau 55:

Tableau 55: Types d'environnements

Industriels	<ul style="list-style-type: none"> - Routes - Industries, usines, entrepôts, - Certaines pratiques culturales (traitements phytosanitaires intensifs : herbicides, insecticides, fongicides..), produits chimiques (antiparasitaires), - Décharges sauvages de toutes natures, - Extraction de matériaux et minerais (gravière, carrières, mines), - Stockage de produits dangereux (hydrocarbures),
	<ul style="list-style-type: none"> - Habitation dense, - Cimetière urbain,

Urbain	- Station d'épuration et canalisations d'assainissement, - rejets d'égout sans épuration
Rural	- Habitation à densité rurale, - Assainissement autonome, - Cimetière de commune rurale, - Stabulation, ferme importante, fèces, - Zones d'épandage,
Naturel	- Pente défavorable à proximité du point de captage, - Ruisseau et cours d'eau, - Elevage extensif, - Captage en zone inondable.

Le suivi et la prévision des risques environnants doit être complété par un travail d'évaluation de la vulnérabilité de la ressource par rapport aux différents risques environnants.

V.3.3.5 Sécurité de l'approvisionnement en eau

La sécurité de l'approvisionnement en eau potable est mesurée par son indice S_r qui permet d'évaluer le niveau de la sécurité de la situation actuelle. Cette évaluation se base sur la possibilité de l'existence de ressources de secours fiables et suffisantes ainsi que des plans de secours actualisés pour faire face à une situation de crise. Cet indice met en évidence le nombre de ressources alternatives pouvant être utilisées lors d'une crise grave dans le champ captant principal. Dans le cas d'une pollution accidentelle de la ressource principale, l'exploitant procédera soit au changement de la ressource, soit à sa dilution avec une ressource saine, soit à l'élimination de la pollution par un traitement adéquat.

Dans le cas d'une pénurie d'eau due à un arrêt brusque de la ressource ou à une panne sur le captage provoquant une interruption prolongée de l'approvisionnement, l'exploitant est appelé à se reporter sur une ressource de remplacement.

Dans tous les cas de figure, pour veiller à la continuité de l'approvisionnement, les points suivants doivent faire l'objet d'analyse et de vérification :

- L'isolation de la pollution et la maîtrise du dysfonctionnement,
- La mise en place d'un système de secours pour assurer la continuité du service par l'interconnexion des points d'eau, les ressources de secours et le traitement d'appoint.

- La mise en place d'un plan de nettoyage de la ressource et de réparation du dysfonctionnement.
- Prévoir un plan assurant le minimum vital du service d'approvisionnement en eau à la population en utilisant la distribution d'eau potable par réservoirs mobiles en cas d'interruption prolongée.

La priorité des services des eaux est d'assurer la continuité du service. Il est souvent préférable de délivrer une eau impropre à la consommation et d'en avertir le public que d'interrompre le service. L'arrêt de la distribution engendre de graves problèmes d'hygiène publique et de contamination du réseau.

L'indice de sécurité de l'approvisionnement S_r est calculé pour le jour moyen, le jour de pointe et le jour d'étiage de la ressource. Il représente le rapport entre le volume journalier produit en temps de crise et la demande journalière de la population.

$$S_r = (V_{\text{produit}} / V_{\text{demande}}) 100 \quad (8)$$

V_{produit} est le volume journalier produit en temps de crise en (m^3/j)

V_{demande} est le volume journalier de la demande en eau de la population (m^3/j).

Pour évaluer l'indice de sécurité de l'approvisionnement S_r , on se basera généralement sur les temps de crise précédemment cités. Dans le tableau 56, la valeur de S_r est donnée en fonction de la ressource de secours (Sundhal, 1997).

Tableau 56: Indice de sécurité de l'approvisionnement en eau S_r en fonction des ressources de secours

Ratio de substitution de la ressource alternative	Nombre de ressources alternatives		
	Aucune	Unique	Multiple
Nul	0	0	0
Inférieur à 100 %	0	S_r	$S_r * K1$
Supérieur ou égal à 100 %	0	100	$100 * K1$

$K1$ est le facteur qui traduit la multiplicité de la ressource. La valeur de ce facteur est prise $K1 = 1.5$ si l'on a plusieurs ressources de substitution.

Par ailleurs, afin de pallier à toutes pannes ou incidents pouvant survenir sur le site de captage, on procède à la vérification des équipements de pompage : on s'assure de l'existence

de pompes de secours, de la redondance des organes annexes importants tels que les grilles de protection.

V.3.3.6 Redondance des installations de pompage et de gestion

La redondance des pompes permet de prolonger la durée de vie de celles-ci. L'exploitant est appelé, chaque semaine à effectuer des permutations des pompes de telle sorte à obtenir une rotation du fonctionnement. Cette opération de permutation peut se faire à la main sur la base d'une décision impliquant directement l'exploitant. En outre, la permutation automatique est préférée, elle présente le double avantage de conduire à une meilleure répartition des temps de fonctionnement pour chaque groupe de pompes et permet d'avoir de meilleures conditions de sécurité de fonctionnement en cas de défaillance d'une pompe, en en démarrant automatiquement une autre.

V.3.3.7 Dispositifs anti-intrusions

Toutes les ouvertures dans les ouvrages de captage telles que, les orifices d'aération, les fenêtres, les conduites en communication avec le milieu extérieur doivent être protégées contre les pénétrations et les intrusions d'animaux, d'insectes et de larves.... Un système de grilles doit être prévu pour lutter contre ces introductions en utilisant des grilles inoxydables fines et moyennes devant résister à tous les facteurs de dégradation et aux contraintes exercées.

V.3.3.8 Plans de secours

En fonction de l'ampleur de certaines conditions accidentelles, voire chronique, l'exploitant aura à choisir les moyens matériels à mettre en œuvre parmi une large gamme de réflexions et de démarches. Il convient donc d'adapter la réaction à la situation.

Par ailleurs, les plans de secours sont à élaborer et sont périodiquement mis à jour et les opérations visées pourront être de plusieurs natures:

- Schéma de sécurité et organisation du personnel. On pourra aller au-delà d'un simple document proposant un schéma de secours à une véritable notice d'organisation de secours qu'il convient d'établir et de mettre à jour. Cela suppose l'élaboration d'une liste hiérarchisée des personnes susceptibles d'être contactées

en cas de pollution accidentelle, d'accident sur les stations de pompage et les forages ainsi que les pénuries d'eau. Ces mesures doivent être complétées par la mise en place d'un schéma de secours et d'intervention sur la base duquel les premières mesures, les alertes et les informations sont communiquées auprès des acteurs, des responsables et du public...). On doit mettre en place aussi, une collaboration étroite entre l'exploitant et l'autorité sanitaire.

- Méthodes et procédures de neutralisation des dysfonctionnements et d'isolements des points affectés.
- Définir les démarches à suivre dans les actions de secours à engager en désignant toutes les opérations et les manipulations interdites pour chaque type de dysfonctionnements.
- Proposer des alternatives concernant les décisions à prendre en cas de pollution de l'eau: arrêt ou poursuite de la distribution et dans quelles conditions : interdiction de consommer ou restriction de la consommation.
- Informer la population en cas de gravité du dysfonctionnement, les informations à communiquer concerneront: les causes de pollution, les conséquences sur la qualité de la distribution, conséquences sur les usagers, les risques sanitaires, et les actions à engagées, et les nouvelles modalités de distribution.

V.3.3.9 Vétusté et qualité d'entretien des équipements

A partir des défaillances rencontrées sur le site et de leur fréquence d'occurrence, et au regard de la vétusté des équipements, on fera un commentaire sur la vulnérabilité de la station de pompage, ses points faibles et sa fiabilité globale pour assurer une gestion et un approvisionnement en eau sûrs et de bonne qualité.

V.3.5. Filière de distribution d'eau potable

Les réseaux de distribution sont constitués de plusieurs centaines voir, plusieurs milliers de conduites. Ces conduites sont enterrées et ne sont pas facilement observables. Devant ces évidences, qu'il est nécessaire de garder à l'esprit, se situe toute la difficulté de l'analyse de ces composants de l'infrastructure. A cet effet, les difficultés souvent rencontrées sont générées d'une part, par l'importance de la taille du réseau qui rend difficile d'opérer sur chaque conduite une activité de surveillance et de contrôle de son état interne et externe.

D'autre part, par la multitude des phénomènes qui, même si l'on pouvait surveiller chaque conduite, ne pourraient être exhaustivement observés ni même prévus.

Les réseaux de distribution d'eau potable subissent des attaques qui affectent leur fonctionnement et les rendent inadaptés aux exigences des usagers. Les conduites sont constamment en interaction avec le sol environnant et avec l'eau véhiculée, ce qui en terme d'agression internes et externes conduit à une dégradation de leurs performances structurelles, hydrauliques et de qualité.

Le schéma d'analyse de la filière de distribution d'eau potable constitue une série de démarches opérationnelles de reconnaissance, d'identification des lacunes fonctionnelles de la filière pour l'élaboration, à différents termes, de plans d'action correctifs.

Pratiquement, pour identifier un ensemble satisfaisant de solutions potentielles d'actions, il convient de concevoir une démarche d'évaluation du niveau de performance de la filière de distribution basée, essentiellement sur la validation des points suivants :

- L'évaluation des pertes d'eau sur le système permettant d'apprécier l'état et la performance du réseau et son étanchéité. La pénétration d'eau polluée dans les canalisations d'eau potable est considérée comme l'une des conséquences les plus préjudiciables d'une mauvaise étanchéité du réseau. Par ailleurs, la diminution des pertes d'eau sur le réseau permet d'améliorer la capacité des équipements et suivre l'évolution de la demande. Il est également nécessaire d'examiner les rendements techniques du réseau de distribution d'eau potable. (Fonctions générales F 5 et F 3).
- La qualité d'eau de distribution doit faire l'objet de plusieurs contrôles et analyses. L'eau distribuée doit satisfaire les exigences qualitatives définies par la réglementation en vigueur au niveau du robinet de l'utilisateur (Fonction Générale F 2) à un niveau acceptable de pression de distribution, afin de garantir une bonne qualité de service (Fonction Générale F 3). On identifiera les lacunes de protection et de lutte contre les dégradations de la qualité du produit et de service (Fonction Générale F 5).
- L'état et le fonctionnement des ouvrages et des équipements de distribution sont soumis à de différentes vérifications (Fonction Générale F5). Ces contrôles permettent la mise en évidence des éléments et des zones défectueux ou en cours de l'être. Le contrôle de l'état des installations de stockage est primordial car ces ouvrages constituent les organes clé de toute distribution. En effet, la dégradation de

la qualité trouve son origine pour une part non négligeable dans une mauvaise étanchéité de ces ouvrages ou une lacune dans leur fréquence d'entretien. Hormis leur influence importante sur la qualité de l'eau, les conduites présentent un coût de maintenance très élevé. Le bon suivi de leur état et de leur vulnérabilité permet de prévoir les budgets suffisants pour assurer le renouvellement des canalisations.

- L'objectif principal de cette filière est de fournir à l'utilisateur de l'eau dans de bonnes conditions de débits, de pressions et de qualité. La qualité de la gestion de la demande et des variations des volumes d'eau est à examiner (Fonction Générale F3). On appréciera la pertinence des plans de secours mis en place pour faire face aux crises graves qui pourraient survenir pendant la distribution (Fonction Générale F4). La sécurité par rapport à l'incendie est également un point sensible qu'il faut prendre en considération.

- L'exploitant doit prendre en charge toute mise en place de branchements individuels pour empêcher la dégradation de la qualité de l'eau que l'utilisateur peut être à son origine. Cependant, ces branchements peuvent être la cause des échanges entre le milieu extérieur et le réseau lui-même. Ainsi, on peut voir des introductions accidentelles de substances nocives ou indésirables qui dégradent la qualité de l'eau et entraînent la formation d'un danger sanitaire pour les usagers. On évalue la qualité de la disconnexion du réseau de distribution au milieu extérieur (Fonction Générale F2).

- On doit apprécier la qualité et le niveau du suivi d'exploitation du système de distribution d'eau potable (Fonction Générale F6).

V.3.4.1. Etat général du réseau de distribution

L'état du réseau d'eau potable est défini à partir de ses caractéristiques, de l'examen de l'état physique des installations, de la qualité des conditions d'exploitation et de celle de l'eau distribuée. La quantification des pertes et des fuites sur le réseau est considérée comme un moyen efficace pour évaluer le comportement et l'état physique des infrastructures.

L'observation de dégradation de la qualité organoleptique (couleur, turbidité, saveur), physico-chimique et bactériologique de l'eau, de la chute anormale des pressions, d'incidents entraînant des interruptions de service peut servir comme un témoin de vieillissement des équipements.

Les processus de corrosion et de précipitation sont les principaux responsables et induisent, par le développement des rugosités, des problèmes de débit et de pression.

L'influence de la dégradation d'une conduite sur la qualité de l'eau distribuée vient principalement du processus de corrosion interne de sa paroi qui conduit à la formation et à la solubilisation de certains composants chimiques, ce qui entraîne des problèmes de couleur de l'eau et de surconcentration en certains éléments.

a) Caractéristiques générales du réseau de distribution

La performance d'un réseau demande à être évaluée à la fois plus globalement et plus précisément. L'utilisation des caractéristiques du réseau comme indicateurs de performance pour mesurer l'état fonctionnel du réseau permet de dresser de façon plus pragmatique un inventaire des lacunes ou des progrès du système de distribution. Ces caractéristiques, et plus particulièrement celles couvrant le domaine technique, constituent, en quelque sorte, le tableau de bord consacré à la gestion technique de l'ouvrage.

Une étude de la fiabilité d'un réseau à partir de son diagnostic se base notamment sur la connaissance des caractéristiques des réseaux d'adduction et de distribution.

Une importance particulière est donnée à la disponibilité des documents et des plans donnant les caractéristiques générales du réseau :

- Schéma de fonctionnement du système de transfert et de distribution,
- Plan général, contenant :
 - le tracé des conduites principales et secondaires,
 - l'emplacement des poteaux et bouches d'incendie, avec leurs caractéristiques (diamètre, débit, âge, durée de vie...),
 - l'emplacement des réservoirs et ouvrages de reprise,
 - l'emplacement des principaux compteurs de distribution (type, marque, diamètre, âge, les opérations d'entretien et de remplacement).
- Profils longitudinaux de toutes les conduites principales et secondaires d'adduction et de distribution,
- Plans de masse ou d'occupation du sol et plans de réseau par quartier, à l'échelle 1/2000 ou 1/2500 pour les zones rurales, de préférence sur fonds de plans cadastraux, avec :

- Nature des conduites, diamètres, longueurs, emplacements sous la chaussée, âges et si possible les profondeurs,
- Nature du sol rencontré (corrosif, instable, saturé, rocheux...),
- Nombre de branchements individuels par tronçon,
- Emplacement de la robinetterie et accessoires (vannes, ventouses, vidanges, bouches à clé...), en précisant le type, le diamètre, les caractéristiques, la marque, la fonction et l'âge de chaque accessoire,
- Carnets de vannage : triangulation des ouvrages hydrauliques par rapport à des points facilement repérables et permanents.

b) Ratios techniques des réseaux de distribution

Les ratios techniques servent à l'exploitant, en interne, dans la formulation des objectifs à atteindre en devenant supports d'aide à la prise de décision et bases d'évaluation de l'efficacité de leur stratégie de gestion technique. Ils permettent de mesurer l'efficacité du service, d'opérer des comparaisons entre les différents distributeurs. Ils véhiculent une information précise pour l'utilisateur qui détiendra alors des éléments quantifiables pour se construire un véritable jugement.

Ces indicateurs techniques sont en terme de mesure de performance, complémentaires parfois interdépendants et quelquefois même redondants. C'est grâce à leur combinaison, leur comparaison, leur confrontation, leur contradiction qu'une vue progressivement plus précise du réseau peut s'établir. Ils représentent les seuls paramètres quantifiables que possèdent l'exploitant et l'utilisateur sur le réseau de distribution.

Rendements d'un système d'alimentation en eau :

Les rendements techniques d'un réseau permettent d'évaluer l'état général de celui-ci. Ils mettent en évidence l'importance des différents types de consommations et de pertes qui caractérisent le système de distribution (Brémond, 2004 ; Deb, 1994 ; Eisenbeis, 2004).

Les relevés des consommations réalisés par l'exploitant et la quantification des pertes représentent les principales données de base pour le calcul des rendements.

Les rendements R1 et R2 respectivement, rendement primaire et rendement net seront calculés de la manière suivante :

$$R1 = \frac{V_{\text{comptabilisé}}}{V_{\text{distribué}}} \quad (9)$$

$$R2 = \frac{V_{\text{comptabilisé}} + V_{\text{conso.sans.comptage}} + V_{\text{service.eau}}}{V_{\text{distribué}}} \quad (10)$$

$V_{\text{comptabilisé}}$: volume consommé par les usagers avec compteurs

$V_{\text{conso.sans.comptage}}$: volume consommé par les usagers sans compteurs,

$V_{\text{service.eau}}$: volume utilisé par le service des eaux pour le fonctionnement et l'entretien du réseau.

$V_{\text{distribué}} = \text{Volume produit} - \text{Volume exporté} + \text{Volume importé}.$

Le rendement net traduit nettement la notion de pertes d'eau, en comparant la totalité de l'eau utilisée sciemment à la quantité d'eau nécessaire à une qualité constante de distribution. Il pourra être calculé à partir des relevés des compteurs principaux étalonnés et des compteurs abonnés, en tenant compte du défaut de comptage abonné. Les compteurs abonnés ont une durée de vie de 7 à 10 ans.

Le rendement net pourra également être calculé à partir du volume des pertes en distribution (fuites, gaspillages, détournement, défaut de comptage).

Le rendement hydraulique R3 intervient après la connaissance du bilan d'eau sur le système de distribution. Le rendement hydraulique R3 est donné comme suit :

$$R3 = \frac{V_{\text{à destination d'un autre service}} + V_{\text{exporté}} + V_{\text{besoin usin e}} + V_{\text{utilisé}}}{V_{\text{introduit}}} \quad (11)$$

$V_{\text{à destination d'un autre service}}$: volume d'eau brute exporté sur un autre système,

$V_{\text{utilisé}}$: somme des volumes $V_{\text{comptabilisé}}$, $V_{\text{conso.sans.comptage}}$, $V_{\text{service.eau}}$, $V_{\text{détourné}}$ et $V_{\text{défaut de comptage}}$.

$V_{\text{introduit}}$: Somme des volumes prélevés, augmentés du volume d'eau brute en provenance d'un autre service, des apports en adduction et du volume importé.

Indices linéaires de consommation et de pertes :

L'indices Linéaire de Consommation ILC et l'Indice Linéaire de Pertes ILP permettent de définir avec une précision relative l'état du réseau en localisant et en quantifiant les fuites et en comparant l'état réel à l'état de référence pour apprécier la qualité de l'ouvrage. L'analyse temporelle de l'évolution de ces indices semble adaptée pour traduire l'amélioration ou une

dégradation de l'efficacité fonctionnelle du réseau : ils permettent de présumer, par exemple, d'une augmentation du volume des fuites.

La mesure des débits de la distribution nocturne peut venir compléter ces indices. Elle consiste à isoler hydrauliquement une partie du réseau pour obtenir le volume consommé à des heures tardives de la nuit (de 00 heure à 03 heure du matin) (Bissardon et all., 1998).

Après avoir pris connaissance des caractéristiques (tracé, plans), et du fonctionnement (plan de vannage) du réseau, on définit le nombre d'abonnés suivant les tronçons ou les zones d'études, ainsi que les consommations permanentes (écoulement permanents ou gros consommateurs).

L'indice linéaire de consommation ILC peut être donné par la relation suivante :

$$ILC = \frac{V_{\text{comptabilisé}} + V_{\text{cons.sans.comptage}} + V_{\text{service.eau}}}{L_{\text{conduites(transfert + distribution + branchements)}}} \text{ en}(m^3 / j / km) \quad (12)$$

L'indice linéaire de pertes (ILP) est défini, suivant le rendement sur lequel on s'appuie, par la relation suivante :

$$ILP = \frac{V_{\text{pertes}}}{L_{\text{conduites(transfert + distribution + branchements)}}} \text{ en}(m^3 / j / km) \quad (13)$$

Le volume de pertes, V_{pertes} , rassemble, vis-à-vis du rendement net, les fuites, les gaspillages, les volumes détournés, les écarts de volumes provenant du défaut de comptage. Vis-à-vis du rendement primaire, il faut ajouter les pertes dues au service des eaux et aux consommations sans comptage. En revanche, pour le rendement hydraulique, on ne prend en compte que les fuites et les volumes gaspillés.

On peut extraire de l'indice linéaire de pertes ILP, l'indice linéaire de fuites ILF, où l'on prend en compte que les volumes de fuites sur le réseau.

La qualité du rendement est appréciée à partir de l'indice linéaire de consommation ILC.

Dans le tableau 57, les valeurs guides des indices linéaires sont évoquées à titre indicatif :

Tableau 57: Valeurs guides des indices linéaires de consommations et de pertes

Réseau	Valeur ILC ($m^3/j/km$)	Valeur ILP à respecter ($m^3/j/km$)	Valeur guide ILP ($m^3/j/km$)	Valeur optimum ILP ($m^3/j/km$)	ILC avec branchements ($m^3/j/km$)

Rural	ILC < 10	1 < ILP < 3	2	1	ILC < 9
Intermédiaire	10 < ILC < 30	3 < ILP < 7	5	3	9 < ILC < 27
Urbain	ILC > 30	ILP ≈ 7	7	5	ILC > 27

En moyenne, la longueur de branchements est comprise entre 4 et 11% de la longueur totale du réseau.

Evaluation des indices linéaires de pertes et du rendement net :

Pour déterminer les pertes, on procède à une quantification du débit nocturne. On utilise pour cela les débitmètres nécessaires à la détermination des débits mis en jeu. On mettra des compteurs généraux aux points stratégiques du réseau et au niveau des réservoirs de stockage et on doit s'assurer de la fiabilité des débitmètres et de leur bon étalonnage.

La mise en place de compteurs à l'amont et l'aval d'un réservoir permet de mettre en évidence des dysfonctionnements du réservoir (déversement par le trop-plein, manque d'étanchéité). Pour délimiter les endroits des fuites, on procède à une pré-localisation de ces endroits par un découpage de l'agglomération en zones de 1000 à 2000 habitants environ. La pré-localisation des fuites pourra se faire par des mesures de débits soutirés, par vannage, par pré-analyse acoustique ou lors des localisations précises par analyse acoustique.

Sur les tronçons fuyards, on effectue une analyse quantitative à l'aide d'un véhicule quantificateur qui se branche en by-pass entre deux bornes incendie délimitant le tronçon fuyard.

La quantification par comptage n'est fiable que si les compteurs sont en bon état de marche et sont en nombre suffisant. Cette démarche permet d'évaluer les pertes globales dans le système (fuites, gaspillage, défaut de comptage, branchements illicites et surconsommation).

L'analyse débitométrique apparaît comme la procédure la plus favorable car elle permet d'identifier les débits de fuites, leur localisation, mais aussi de vérifier l'état des vannes et clapets et de définir l'existence des dysfonctionnements de certains équipements. On pourra ainsi calculer les pourcentages des pertes $\left(\frac{V_{pertes}}{V_{distribué}}\right)$ et des fuites $\left(\frac{V_{fuites}}{V_{distribué}}\right)$.

L'analyse débitométrique permet également de confirmer ou infirmer la nécessité d'engager une campagne de renouvellement du parc des compteurs et de définir le taux de ce renouvellement.

Les plans de rénovation des tronçons endommagés peuvent être établis sur la base des calculs des indices linéaires de pertes ILP. Les valeurs guides permettent d'évaluer l'importance des ILP.

c) Facteurs de dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution

La dégradation de la qualité de l'eau potable peut être le résultat du vieillissement ou du mauvais état du réseau. Les phénomènes, tels que le développement et la mise en suspension du biofilm dans l'eau distribuée, la perméabilité du matériau constitutif de la conduite de distribution à certaines substances conduisent à une dégradation de la qualité de l'eau. Pour résoudre ce genre de problèmes, un diagnostic de la qualité de l'eau distribuée doit être réalisé en se basant sur :

- L'analyse de la nature de la dégradation apparue en procédant à:
 - La détermination de la date d'apparition du problème,
 - La localisation des points de dégradation,
 - La détermination du nombre de cas enregistrés,
 - L'indication du type de phénomène produit,
 - L'analyse de l'évolution du phénomène dans le temps,
 - La mise en œuvre d'une enquête sur les travaux intervenus et les branchements à risque.
- La réalisation d'une campagne d'analyses ciblées des eaux de distribution : en précisant le type d'analyses effectuées, le nombre et l'emplacement des points de prélèvements des échantillons ainsi que la période de contrôle.

Par ailleurs, dans ce diagnostic de qualité, les paramètres qualitatifs suivants feront l'objet d'une étude aussi détaillée que possible :

Paramètres organoleptiques :

- La couleur de l'eau est souvent liée à la turbidité et implique la présence d'une corrosion interne de la conduite : la couleur rouge est due à l'oxydation du fer, la couleur noire indique une oxydation du manganèse et une mise en suspension de tubercules érodés prendra la couleur brune. L'origine de la corrosion interne est souvent la présence d'une eau agressive, de l'oxygène ou la prolifération bactérienne.

La corrosion interne des conduites de distribution se manifeste dans différents cas liés à la qualité des eaux transportées :

- le cas d'une eau peu minéralisée (corrosive) qui attaque les conduites en acier et en fonte et met en solution les ions métalliques. La corrosion des conduites métalliques obéit à la théorie électrochimique qui repose sur la présence de piles de corrosion. Ainsi, le fer est corrodé à l'anode, tandis qu'à la cathode, le phénomène observé dépend de l'oxygénation du milieu.

- le cas d'un milieu très oxygéné (l'oxygène dissous supérieur à 7 mg/l), il apparaît une oxygénation différentielle et une réduction de l'oxygène. La vitesse d'oxydation varie beaucoup selon le pH, elle est plus importante quand le pH est compris entre 6.5 et 7.

- le cas d'un milieu sans oxygène, les ions de fer II restent en suspension sans s'oxyder. La coloration rouille, due à l'oxydation des ions de fer II en ions de fer III ne se produit qu'après le soutirage de l'eau à l'air libre. Cette absence d'oxygène est due à sa consommation par les réactions de corrosion ou l'activité microbologique.

Dans tous les cas, il faut réajuster le pH et le TAC pour remettre l'eau à l'équilibre et contrôler les variations du taux d'oxygène dans l'eau.

- le cas où il se développe une population bactérienne aérobie créant les hydroxydes métalliques et initiant les zones d'aération différentielle. A l'abri des zones anaérobies, sous les dépôts biologiques et dans les tubercules, les bactéries sulfito-réductrices réduisent les sulfates en hydrogène sulfureux (H₂S), dégradant la qualité de l'eau (odeur et attaque des conduites).

- Eau trouble : l'apparition de l'eau trouble est due essentiellement à :

- une remise en suspension de précipités de fer ou de manganèse,

- l'entrée d'eau sale dans le réseau lors des travaux de maintenance des conduites,

- une remise en suspension de dépôts après une opération de nettoyage du réservoir,

- une remise en suspension des dépôts sédimentaires sous forme de matière colloïdale ou minérale entrés dans le réseau en raison des interruptions de service,

- un décollement des tubercules dû notamment à des vitesses

d'écoulement trop élevées, aux surpressions provoquées par les coups de bélier, aux inversions de sens d'écoulement, ou lors de la remise en eau d'une conduite,

- un décollement du biofilm bactérien fixé sur les parois des canalisations où le développement bactérien y est prédominant. Lorsque le biofilm est suffisamment important, des plaques se détachent sous l'effet du courant de l'écoulement, dégradant ainsi, la qualité de l'eau et alimentant le réseau en matière organique.

- Odeur et saveur : ces deux paramètres qui caractérisent parfois l'eau de distribution proviennent de la présence de matière organique, produite par le développement et l'activité microbiologique. La réaction entre la matière organique et les oxydants de désinfection (chlore), entraînant la formation d'organohalogénés.

Paramètres physico-chimiques :

- L'apparition de zones anaérobies par absence ou manque d'oxygène implique l'existence d'un développement microbiologique, une corrosion importante ou des temps de séjour trop longs. Elle montre les lacunes et l'insuffisance d'oxygénation, notamment en début du réseau. Ces zones apparaissent aussi dans les dépôts des canalisations, les plus touchées étant celles des extrémités du réseau où les vitesses sont très faibles ($V < 0.2$ m/s) et où on a un double sens d'écoulement.

- L'apparition des éléments indésirables en concentration importantes provient notamment des facteurs suivants :

- La détérioration et l'usure des revêtements intérieurs canalisations à cause de l'érosion interne sous l'effet des vitesses d'écoulement trop élevées ($V > 1.5$ m/s), ou en raison de l'agressivité de l'eau transportée.

Dans le cas d'anciens revêtements en fonte, en bitume ou des éléments constitutifs des revêtements en ciment, on peut assister à un relargage de différents matériaux,

- La corrosion interne de la conduite provoquée par la présence d'une eau peu minéralisée ou agressive. Cette agressivité de l'eau transportée favorise le relargage d'éléments métalliques (fer, manganèse, plomb) et contribue à la dissolution des ouvrages en béton ou des revêtements en ciment.

- Introduction de composants extérieurs : elle s'effectue au cours des travaux de réparation sur le réseau, ou lors d'une mise en dépression de ce dernier (interruption de service), ou au niveau d'un joint mal confectionné, par un branchement individuel non doté de clapet.

Il s'avère indispensable de lancer une campagne de mesures sur le réseau dont l'aboutissement est l'établissement d'une cartographie de l'encrassement.

Pour les petites conduites dont le diamètre est inférieur à 150 mm, on recommande de procéder à une analyse de la turbidité et de la matière en suspension (M.E.S). Cette procédure consiste à prélever des échantillons d'eau, après un lavage de la conduite, au moyen d'un soutirage à fort débit (environ 60 m³/h) sur les poteaux et les bouches d'incendie.

Paramètres bactériologiques :

La conduite de distribution d'eau potable peut être le milieu privilégié pour un développement bactérien important. Cette activité de développement de bactéries est généralement générée par:

- La présence significative de matières organiques dans l'eau,
- L'absence de désinfectant,
- L'importance du temps de séjour de l'eau dans le réseau,
- L'admission dans le réseau de micro-organismes depuis le milieu extérieur.

La démarche visant une quantification de la qualité bactériologique du réseau peut se faire de la manière suivante :

- Par l'établissement d'une cartographie de la teneur en chlore sur le réseau,
- Par la réalisation de campagne d'analyses bactériologiques sur le réseau,
- Prévoir des analyses systématiques des sédiments de fond de réservoir et du potentiel de croissance bactérienne,
- Prévoir des analyses systématiques des sédiments de purge et des réservoirs pour détecter la présence d'animalcules et de bactéries.

Quoi qu'il en soit, l'établissement d'une cartographie de la prolifération biologique est indispensable.

d) Evolution des pressions dans le réseau de distribution

La pression est particulière dans le sens où sa mesure sur l'ensemble de la zone desservie est difficilement concevable. L'exploitant se base sur des simulations hydrauliques qui renvoient, à chaque nœud du réseau, des valeurs de pression et de débit, fonction des différents régimes de fonctionnement (été / hiver, heures creuses / de pointe). Ces valeurs, comparées à des standards indiquent si le service est adapté aux attentes des usagers.

La chute de la pression dans le réseau est un indicateur important de l'obstruction de la conduite et donc, d'une perte de fonctionnalité hydraulique. Ce phénomène se produit, généralement en présence d'une eau très incrustante qui engendre des dépôts calcaires dans les conduites. Ces chutes de pression peuvent devenir gênantes pour la distribution, notamment en périodes de pointe.

Selon (Houillon, 1995), une canalisation est considérée comme très incrustée si son diamètre intérieur est réduit de 20% et quand :

$$\frac{J_{nominal}}{J_{mesuré}} < 0.10$$

$J_{mesuré}$ est la perte de charge mesurée sur le tronçon étudié

$J_{nominal}$ est la perte de charge du tronçon neuf.

En revanche, les zones où les pressions sont excessives, engendrent des contraintes sur les conduites qui sont de plus en plus vulnérables au fur et à mesure qu'elles vieillissent ou lors des phénomènes de coups de bélier.

Une cartographie des pressions et des étages de pression est nécessaire. On pourra, même comparer l'évolution des pressions en différents points pour apprécier l'évolution du réseau et des conditions d'exploitation. Cette comparaison, nécessite une analyse poussée à travers un calcul hydraulique.

e) Incidents prévus sur le réseau de distribution

Le vieillissement des conduites se traduit par l'augmentation du nombre de ruptures sous l'action des contraintes de fonctionnement (surpression, corrosion et abrasion) et d'environnement (variations de la température, agressivité des sols, transmission directe et excessive de charges statiques et accidentelles en surface et effets des travaux de voiries et de terrassement).

Une analyse annuelle de l'évolution du taux de défaillances doit être envisagée. L'augmentation des premières défaillances permettra de prendre en charge le vieillissement du réseau et une opération de renouvellement des conduites doit être engagée.

On s'intéressera également à l'importance et à l'évolution des incidents nécessitant une intervention sur le réseau (casse, fuite, vanne, ouvrages, maintenance,...). On enregistre chaque incident produit par sa date, sa nature, sa localisation, et les opérations effectuées. On précisera les causes, la durée de réparation et d'interruption de service, ainsi que le nombre d'abonnés touchés par cette interruption.

Par ailleurs, on estime la fiabilité (fonction du temps entre deux défaillances), la maintenabilité (fonction du temps moyen de réparation) et la disponibilité D de chaque zone et du système de distribution (Bue et all., 1992),

$$D = \frac{TMDD}{TMDD + TMDR} \quad (14)$$

$$TMDR = \frac{\sum_{i=1}^n TRDi}{n} \quad (15)$$

$$TMDD = \frac{\sum_{i=1}^n TDDi}{n} \quad (16)$$

TMDD est le temps moyen entre deux défaillances,

TMDR est le temps moyen de réparation,

TRDi est le temps de réparation de la défaillance i,

TDDi est le temps de la défaillance i.

Il est préférable d'établir une cartographie des tronçons suivant leur taux de défaillances, leur taux d'interruption de service ou de baisse de pression. On se réfère aux travaux de (Houillon, 1995) en prenant en compte le nombre et la sensibilité des consommateurs. On établit une cartographie de l'indice linéaire de réparation ILR :

$$ILR = \frac{\text{Nombre de réparations}}{L.\text{conduites}(\text{transfert} + \text{distribution} + \text{branchements})} \quad (17)$$

Cet indice est un indicateur de la difficulté du service à maintenir ou à atteindre un objectif de rendement. Une valeur élevée de cet indice signifie la nécessité d'entreprendre des investigations et de prendre des mesures de renouvellements et de mesures préventives : il

s'agit principalement de protections interne et externe des conduites selon la nature du matériau constitutif.

V.3.4.2. Ouvrages et équipements de distribution

Une série de vérifications et d'observations doit se faire sur les ouvrages de distribution ainsi que sur leurs équipements.

On observera l'état physique et sanitaire de l'ensemble des installations et on analysera la qualité de suivi et de maintenance de ces ouvrages. L'analyse touchera également l'état des dispositifs anti-intrusion (animaux et personnes) et la qualité des matériaux afin d'évaluer le niveau de sécurité vis-à-vis des dangers de dégradations de la qualité de l'eau et de l'ouvrage. On évaluera également la vulnérabilité de l'ouvrage par rapport aux contraintes d'exploitation.

a) Etat des ouvrages

On veille à la régularité et à la continuité de l'entretien et de la maintenance des ouvrages et à la mise à jour des fiches de suivi et d'entretiens de chaque ouvrage. On doit s'assurer de la bonne tenue de :

- La qualité des parois intérieure et extérieure des ouvrages de stockage : état des revêtements, de la cimentation, l'épaisseur de dépôts. Ceci permettra d'apprécier la qualité d'entretien des ouvrages,
- L'étanchéité de l'ouvrage et l'absence de déplacements ou enfoncements,
- L'état de fonctionnement des dispositifs de gestion (trop plein, capteur de niveaux, matériel d'incendie...), de l'aération du local, des dispositifs anti-intrusion contre les animaux et les insectes, de l'état de l'évacuation des eaux pluviales et de l'existence d'une protection thermique,
- L'état général de la robinetterie et de la tuyauterie,
- L'efficacité de la régulation de température dans le réservoir,
- L'état du système de fermeture efficace (cadenas, code, serrure renforcée, alarme anti-intrusion).

b) Caractéristiques générales de l'ouvrage

Les ouvrages constituant le système de distribution d'eau peuvent être caractérisés par :

- L'âge et la durée de vie,

- La localisation géographique,
- L'accessibilité,
- Le nombre de réservoirs avec les côtes du radier de trop plein, les niveaux sécurité bas et haut, la hauteur de marnage maximum et la capacité de stockage,
- Le plan d'occupation du sol,
- Les plans descriptifs :
 - plan de génie civil
 - plan des installations électromécaniques,
 - plans de nivellement, avec les côtes et les dimensions des structures.
- Les équipements spécifiques (système d'alarme, automatisme pompe-robinet flotteur, robinetterie, sécurité...), avec leur âge et leurs caractéristiques techniques (type, marque, dimensions...).

c) Vulnérabilité des ouvrages de distribution

L'existence d'un cahier de maintenance et de nettoyage des ouvrages de distribution et l'application des consignes adéquate d'entretien représentent une garantie contre la vulnérabilité de ces ouvrages. Cette vulnérabilité est généralement traduite par le vieillissement et le dysfonctionnement de leurs équipements. L'analyse des interventions de réparation, de nettoyage et de maintenance peut également révéler les points sensibles de l'ouvrage.

Pour garantir une fiabilité optimale du système de distribution, il faut que les conditions suivantes soient vérifiées :

- La cohérence et la coordination dans les contrôles de fonctionnement des équipements de l'ouvrage (conduites, vidange, compteur, automation, alarme, disjoncteur, protection contre la foudre).
- Le suivi de l'évolution de la réaction du sol, vis-à-vis du poids de l'ouvrage et des conditions climatiques afin d'assurer la stabilité du sol de manière à garantir la pérennité de l'ouvrage.
- La qualité et la pertinence des matériaux utilisés vis-à-vis des contraintes environnementales et d'exploitation (neutralité par rapport à l'eau, stabilité, longévité...).

d) Etat des équipements de distribution

Dans cette étape, il convient de mettre en marche les processus adéquats pour l'évaluation de l'état physique ainsi que le fonctionnement des équipements et de leur protection. Il est également important d'apprécier le niveau de maintenance et d'entretien de ces équipements.

On se référera aux paragraphes d'analyse de l'état, du fonctionnement et de vulnérabilité des équipements du captage.

e) Suivi et sécurité des branchements individuels

Les branchements individuels sont considérés comme le maillon faible d'un réseau de distribution. L'exploitant doit engager, suivant un cahier de bord, des opérations d'intervention pour vérifier le niveau de ces branchements. Il doit s'assurer de l'existence des dispositifs contre les retours d'eau afin d'évaluer le niveau de sécurité vis-à-vis des dangers de dégradations de la qualité de l'eau dans le réseau.

Les branchements individuels représentant 8 à 10 % du réseau total de distribution peuvent être décrits comme suit :

- Caractéristiques des branchements

Un branchement individuel débute sur la canalisation publique par une prise d'eau et doit contenir un robinet d'arrêt sous bouche à clé, une conduite, un robinet avant compteur et un compteur. On doit y inclure un clapet pour empêcher les retours d'eau dans le réseau.

Il est fortement recommandé d'indiquer les divers types de branchements sur le réseau en mettant en place une base de données des caractéristiques des branchements individuels (longueurs, matériaux, diamètres, âges...). On mentionnera les branchements particuliers (gros consommateurs d'eau ou consommateurs à danger de pollution) et on tient à vérifier l'existence d'un compteur non défectueux pour chaque branchement.

- Protections contre les retours d'eau

On peut distinguer les branchements de type industriel présentant un grand risque de contamination toxique, des branchements domestiques, où l'importance du danger est moindre.

Pour tout branchement, on s'assure de l'existence d'un dispositif anti-retour d'eau afin d'éviter toute contamination accidentelle. Ces dispositifs sont placés en aval du compteur et doivent apporter un niveau de sécurité élevé pour assurer l'étanchéité contre les dangers de contaminations bactériologiques ou toxiques.

- Conduites en plomb

Contrairement aux canalisations du réseau de distribution, les conduites formant les branchements individuels sont soumises au problème de la pollution par le plomb. Ce matériau peut, sous l'effet d'une ingestion longue et permanente, être le responsable d'une maladie grave, le saturnisme. Bien que l'utilisation de ce matériau dans les réseaux d'eau potable est déjà interdite en Algérie et dans plusieurs pays dans le monde, on estime que nombreux sont les branchements qui sont fait encore en plomb.

Il paraît incontournable d'engager un travail d'évaluation et de sensibilisation de la menace du plomb sur chaque réseau. En évaluant la proportion et la longueur totale de conduites en plomb sur le réseau on pourra ainsi établir une cartographie des zones touchées par la pollution du plomb par une campagne de mesures sur le réseau.

V.3.4.3. Vulnérabilité de la distribution

A- Réseau et installations de distribution

Les conduites représentent l'investissement le plus important lors de la réalisation d'un système d'eau potable. De part l'importance de leur surface et de leurs connexions, les risques de contaminations de l'eau, lors des échanges avec le milieu extérieur, sont grands.

Dans cette phase, on évaluera l'efficacité et la pertinence des dispositions prises pour se prémunir des contraintes environnementales et d'exploitation. Pour limiter le phénomène de vieillissement et de vulnérabilité des conduites il faut prendre en compte l'ensemble des risques qui pèsent sur la distribution ainsi que la qualité de gestion de ce maillon.

a) Principaux facteurs de vulnérabilité

La vulnérabilité des conduites se manifeste sous l'action de facteurs imposant des contraintes ou entraînant un vieillissement du matériau. Ces facteurs peuvent être présentés de la manière suivante (AGHTM, 1995):

- Corrosion interne : eau agressive, eau corrosive, incrustante, dépôts, développement bactérien, corrosion par l'oxygène.
- Corrosion externe : courant vagabond, agressivité du sol.
- Contraintes mécaniques externes : mouvements violents ou lents du sol, déstabilisation du lit de pose, diminution de la hauteur de couverture lors de reprofilage de la voirie, hautes températures, transmission directe de charges accidentelles en surface, travaux de voirie.
- Contraintes mécaniques internes : variations de pression, coup de bélier.
- Facteurs liés à la conduite : présence de produits chimiques, joints défectueux ou inadaptés, conduite de mauvaise qualité, technique de pose.

b) Risques de défaillances

Le risque de défaillances pesant sur un système sera proportionnel à plusieurs facteurs dont le plus important est le nombre de défaillances déjà subies. En effet, les autres paramètres dépendent du nombre de défaillances sur la conduite, et n'ont pratiquement plus aucune influence, à partir d'un certain seuil de ce dernier. Ceci est dû au fait qu'après chaque défaillance, la probabilité d'occurrence de la suivante est multipliée par trois. La courbe caractéristique du vieillissement d'un réseau est celle liée à la première défaillance. Pour les autres tronçons, les défaillances deviennent indépendantes les unes des autres (AGHTM, 1995).

c) Cartographie des défaillances du réseau

Les renouvellements engagés sur un réseau doivent faire l'objet d'une analyse quantitative et qualitative. Outre le fait qu'elle permet d'établir une gestion financière et patrimoniale à long terme, ils permettent de contrôler :

- les défaillances sur le réseau,
- les débits de fuites et le nombre de tronçons fuyards,
- les chutes de pression dues au changement des caractéristiques de la conduite,
- les pollutions par l'entrée d'eaux sales provenant du milieu extérieur ou par la dégradation interne de la qualité de l'eau.

Les renouvellements des conduites sont généralement motivés par :

- les fréquences élevés de fuites,
- la réfection de la voirie,
- le renforcement de la distribution par augmentation du diamètre,
- les travaux de pose d'un autre réseau,
- la corrosion ou rétrécissement de diamètre,
- le renouvellement des branchements,
- l'âge des conduites.

Il est très important de procéder à la présentation et la conservation des données sous d'une façon ordonnée. Ces données décrivent généralement la conduite renouvelée et celle de remplacement. Il s'agit essentiellement de la longueur, le diamètre, le matériau, l'âge, le milieu, les motifs de l'intervention et la technique utilisée.

On procède ensuite à établir une cartographie des défaillances et des réparations pour mettre en évidence les zones à risques. On aboutira ainsi à définir une carte des risques de défaillances et des zones à surveiller en priorité.

d) Effet des caractéristiques de l'eau sur les conduites

L'effet de l'eau sur la vulnérabilité des conduites de distribution peut être important. Les paramètres relatifs à la qualité de l'eau véhiculée et à la conception et au fonctionnement du réseau de distribution susceptibles de porter atteinte à la conduite doivent être cartographiés. L'élaboration de la cartographie concerne notamment les éléments suivants:

- Caractéristiques de certains éléments de l'eau : pH, TAC, oxygène dissous, chlore,
- Vitesses d'écoulement: les zones où la vitesse atteint des valeurs supérieures à 1.5 m/s,
- Pressions de service : les zones à hautes pressions et à basses pressions,
- Traversés : définir les intersections des conduites du réseau de distribution avec la voie ferrée, les route à grande circulation, les lignes à courant ou des zones à contraintes diverses,
- Conduite d'assainissement : proximité des conduites de distribution et des conduites d'évacuation des eaux usées,

- Point haut : identification des points hauts du réseau de distribution en s'assurant de l'existence de ventouse sur chaque point.

B- Eau de distribution

Les plaintes, images des problèmes perçus de qualité de l'eau distribuée, sont plus souvent attribuables à un ensemble fonctionnel de conduites qu'à un élément particulier. L'analyse de leur répartition spatiale constitue une forme de connaissance de la vulnérabilité de l'eau dans le réseau de distribution.

D'autres alternatives sont prévues pour établir un bilan sur la qualité de l'eau dans le réseau ainsi que la quantification de sa dégradation. On évalue la vulnérabilité de cette eau vis-à-vis des contraintes environnementales et tenir à localiser les zones présentant un danger sur la santé publique.

Par ailleurs, les opérations d'analyses de l'eau dans le réseau de distribution doivent se réaliser dans leur grande partie chez l'utilisateur à des fréquences suffisantes. Ces analyses permettent à l'exploitant d'apprécier la qualité de l'eau distribuée ainsi que sa conformité aux normes de potabilité.

On mentionne, au vu de la qualité de l'eau en se référant aux normes de potabilité en vigueur, les éléments suivants :

- le nombre de paramètres dépassant les normes et leur degré de toxicité,
- la fréquence et la date de dépassement de ces normes,

Ces opérations s'achèvent par la présentation du type et de la fréquence des contrôles effectués par l'exploitant.

a) Etat bactériologique de l'eau de distribution

La qualification bactériologique de l'eau de distribution est obtenue par les analyses réalisées sur le réseau par un laboratoire d'analyses agréé. Cette qualification peut être exprimée par le ratio suivant (Kerneis, 1994):

$$R_{\text{bactério}} = \frac{\text{Nbre analyses bactério défectueuses}}{\text{Nbre total danalyses}}$$

Les valeurs guides de ce ratio sont données à titre indicatif comme suit :

Qualité bactériologique	Rbactério
Bonne	< 3
Acceptable	3 – 10
Mauvaise	10 – 30
Très mauvaise	30 – 60
Dangereuse	> 60

b) Etat organoleptique et physico-chimique de l'eau de distribution

Les résultats des contrôles et des analyses de l'eau distribuée effectués par l'exploitant doivent faire l'objet d'une étude d'appréciation. Les paramètres concernés par cette analyse sont généralement : l'odeur, la couleur, la saveur, le pH, la turbidité, la conductivité, le chlore résiduel, la température, le TAC, l'oxygène dissous et si possible les vitesses d'écoulement afin de mieux apprécier l'état et la vulnérabilité du réseau.

Toutes ces données seront notifiées dans un cahier de bord de la distribution, avec la date, le lieu de prélèvement et la valeur du paramètre. Une analyse de l'évolution de ces paramètres en fonction du temps est conseillée.

c) Vulnérabilité de l'eau de distribution

La vulnérabilité de l'eau se définit par la présence d'un paramètre caractéristique ou l'existence de conditions qui vont entraîner une dégradation de sa qualité. Ces facteurs vulnérables sont :

- Présence d'eau agressive qui fait entraîner :
 - la formation de dépôts : dégradation de la qualité organoleptique,
 - la solubilisation d'éléments nocifs : plomb, hydrocarbures, éléments constitutifs des conduites, soudures et revêtements,
 - le développement des bactéries.

Une cartographie des zones à danger de corrosion ou de pollution est à élaborer.

- Important débit de fuites: les fuites sur le réseau impliquent des échanges avec le milieu extérieur. Lorsque la conduite se met en dépression, lors des interruptions de service, les eaux sales, les de micro-organismes et les germes pathogènes peuvent y pénétrer.

Les zones frappées de fuites doivent être cartographiées.

- Retours d'eau dans le réseau : les branchements individuels sans protection anti-retour présentant un grand danger de pollution bactériologique et toxique. Ils doivent se doter de protections suffisantes et non défectueuses. Les zones à branchements sans protection doivent être localisées et recensées.

- Vitesse d'écoulement faible: la connaissance les tronçons du réseau dont la vitesse est faible est recommandée. Ces conduites sont soumises au grand risque de dépôt, donc, la corrosion des infrastructures et la dégradation de la qualité de l'eau sont à craindre.

- Purges et désinfection des canalisations et des ouvrages : un programme préétabli de purges et de désinfection des canalisations et des ouvrages doit être mis en œuvre.

Les désinfections se font dans les cas suivants:

- Après l'extension du réseau : pose de nouvelles conduites ou installation de nouveaux appareils,
- Suite à des réparations effectuées sur le réseau et après des travaux sur les conduites,
- Après des travaux d'entretien des ouvrages de stockage,
- Suite à l'apparition de défauts de potabilité de l'eau.

Les réservoirs de stockage se font nettoyer mécaniquement avant de procéder à une pulvérisation d'une solution de chlore sur les parois. Après rinçage, on remplit à une hauteur de 1 m à l'eau chlorée et on fait un contrôle qualité. Ce type de nettoyage se fera au moins une fois par an.

V.3.4.4. Sécurité de l'alimentation en eau potable vis-à-vis des usagers

Cette étape permet d'évaluer la qualité des plans de secours destinés à se prémunir des dangers de pollution ou de pénurie d'eau en distribution. Il permet de vérifier la suffisance des

stockages d'eau afin d'assurer la continuité du service, en période de pointe notamment. On vérifiera aussi l'adéquation du pompage de distribution pour assurer la demande de pointe. On élaborera un plan de gestion des ressources en fonction de la demande journalière et des contraintes d'exploitation de la ressource. On veillera à ce que chaque station de pompage dispose d'une pompe de secours, et d'une redondance des organes annexes permettant la gestion du pompage.

V.3.4.5. Sécurité des dispositifs de lutte contre les incendies

L'évaluation du niveau de fonctionnement ainsi que la qualité du service de lutte contre les incendies se fait par:

- l'établissement d'un inventaire des ouvrages incendie présents sur le réseau,
- la localisation et l'évaluation de l'accessibilité de ces ouvrages,
- les renseignements sur leur état,
- la périodicité de visite ou d'entretien (fiche de suivi des réparations ou des contrôles par organe),
- l'élaboration d'une cartographie du périmètre couvert par chaque poteau ou bouche d'incendie.

On veillera à la cohérence de la densité des poteaux et des bouches d'incendie. C'est pourquoi, il convient d'étudier au préalable les besoins incendie et les sites à risque. Les zones industrielles importantes doivent se munir d'un système de défense qui leur sera propre (bâche alimentée par le réseau). Dans le cas d'une bâche incendie, on s'assurera de l'existence de plans techniques, régulièrement mis à jour, ainsi que du fonctionnement du disconnecteur au réseau (Gauriau et all., 1996).

V.4. Exemples de schémas partiels d'analyse des systèmes d'alimentation en eau potable dans la région de Biskra

Ces schémas portent sur l'analyse des systèmes de distribution d'eau potable dans les trois villes étudiées de la région de Biskra.

Il s'agit de mettre en œuvre de quelques opérations relatives à l'analyse partielle de certain nombre de composants en fonction de la disponibilité des informations, des données ainsi que de l'importance de la taille de l'agglomération.

V.4.1 Schéma d'analyse du système d'eau potable de la ville de Sidi-Okba (agglomération de petite taille)

- Evaluation des besoins futurs :

L'évaluation de la population est réalisée sur la base des données des recensements nationaux et des taux d'accroissement de la population et des plans d'occupation de sols. Les besoins futurs seront estimés pour un horizon de 10 à 15 ans.

- Comparaison : besoins futurs / ressources

Il s'agit d'une comparaison des besoins journaliers futurs en pointe, avec la production journalière du pompage par l'ensemble des ressources. La comparaison réalisée conduit à qualifier la ressource de suffisante ou insuffisante.

- Fonctionnement actuel et futur du réseau :

La vérification du fonctionnement du réseau est réalisée par simulation informatique. Elle estime la répartition des prélèvements selon chaque ressource, les valeurs et les distributions des pressions, des vitesses et des débits.

Cette vérification est effectuée sur la base des données actuelles du réseau et celles estimées dans 15 ans. Ainsi cette simulation permet de repérer les éventuels problèmes de fonctionnement actuels et futurs.

- Diagnostic :

Le diagnostic est essentiellement basé sur l'état des conduites du système d'eau potable. L'état du réseau est qualifié par la longueur de conduites endommagées selon le type de matériau et leurs diamètres, ces données étant réunies sur un plan de l'ensemble du réseau.

- Propositions d'aménagement

La programmation et la hiérarchisation des aménagements hydrauliques se font sur la base des résultats des analyses précédentes et des problèmes recensés. Ces aménagements vont concerner notamment les opérations de rénovation partielle des tronçons de conduites et le renforcement du réseau.

V.4.2 Schéma partiel d'analyse du système d'eau potable de la ville de Tolga (agglomération de taille moyenne)

- Evaluation des besoins actuels et futurs:

L'étude de l'évolution de la population desservie représente une base essentielle dans l'évaluation des besoins en eau potable. L'estimation actuelle et future de la population se base essentiellement sur les résultats des études démographiques déjà entreprises et permet d'aboutir à une évaluation des besoins actuels et dans un horizon de 15 ans.

- Analyse comparative : besoins futurs / ressources

Cette comparaison est rendue possible grâce à la disponibilité des volumes de la production actuelle. On procède, alors à établir les bilans besoins actuels / ressources actuelles et besoins futurs / ressources actuelles. Ces analyses nous permettent de repérer d'éventuels problèmes d'approvisionnement en eau et d'apprécier la capacité de la ressource.

- Bilan des capacités de stockage:

Les réservoirs de stockage existants subissent le test de capacité par rapport aux besoins moyens de la population. Un bilan besoins / capacité de stockage par réservoir permet de mettre en avant les problèmes liés au stockage. Il s'agit de problèmes d'insuffisance de stockage en cas de crise ou de stockage trop long entraînant la dégradation de la qualité de l'eau stockée,

- Fonctionnement du réseau:

Les incidents de fonctionnement survenus sur le réseau de distribution seront recensés. Les informations et les données physiques et hydrauliques permettent de construire une simulation du fonctionnement qui s'applique sur le comportement actuel du réseau selon quatre temps :

- jour moyen en heure moyenne,
- jour de pointe en heure moyenne,
- jour de pointe en heure de pointe,
- jour de pointe en heure creuse.

Un recensement détaillé des difficultés éventuelles à rencontrer dans les quatre temps. Parmi les difficultés souvent rencontrées dans le fonctionnement d'un réseau de distribution figurent les vitesses trop élevées ou trop faibles, les hautes et les basses pressions ainsi que l'insuffisance de stockage,....

Cette analyse est complétée par la le contrôle du système de lutte contre les incendies en procédant à la vérification des pressions et des débits.

- Diagnostic :

Comme pour le diagnostic de la ville de Sidi-Okba, le diagnostic est basé sur l'état des conduites. Les principaux critères utilisés pour le renouvellement de ces conduites sont:

- Les travaux programmés lors du dernier plan de réseau ou du schéma directeur d'eau potable de la ville sur des conduites ayant subi plusieurs interventions de réparation les trois dernières années,
- Les travaux programmés lors du dernier plan de réseau ou du schéma directeur d'eau potable sur des vieilles conduites dont l'âge dépasse 30 ans,
- Les travaux sur des conduites ayant subies des interventions de réparation ces dernières années. Le critère d'âge pris en compte pour prévoir le renouvellement d'une conduite ayant été sujette à plusieurs interventions est de 30 ans. Le renouvellement des conduites d'âge inférieur à 30 ans est exceptionnellement entrepris lorsque la conduite concernée a subi de nombreuses interventions au même linéaire,
- Les travaux liés à des projets d'urbanisme ou de restructuration de la voirie et des réseaux divers.

-

- Prévision d'aménagement futur:

En introduisant les données physiques et hydrauliques relatives à la situation future, on peut simuler le fonctionnement futur du réseau. Cette simulation permet de tester de nombreuses solutions et opter pour la solution la plus adaptée à notre situation.

Des aménagements hydrauliques futurs sont, alors proposés pour cette ville en énumérant les conduites du réseau à renouveler selon les quatre critères déjà définis.

V.4.3 Schéma partiel d'analyse du système d'eau potable de la ville de Biskra (agglomération de taille importante)

- Analyse de la situation actuelle des consommations, l'évolution récente de celle-ci et la tendance observée:

De point de vue pratique, l'analyse des consommations actuelles en eau potable peuvent se faire, d'une part sur la base de l'évolution de ces consommations au cours de ces dernières années, d'autre part, à partir de mesures effectuées sur le réseau ainsi chez les différents usagers. Il s'agit de déterminer les consommations de pointe sur le mois, la semaine et le jour,

les facteurs et les coefficients de pointe pour tous les secteurs alimentés. La détermination de ces paramètres sera complétée par l'analyse de l'évolution des volumes d'eau produits et les volumes facturés.

- Evaluation des capacités de production susceptibles d'être requises à l'horizon futur:

L'évaluation des capacités de production pour un horizon donné dépend des résultats des prévisions de consommations à cet horizon dans des conditions de distribution données. Il faut tenir compte des rendements techniques du réseau, des facteurs de pointe de la consommation.

- Comparaison des besoins futurs avec les capacités de production existantes:

La comparaison entre les besoins à l'horizon des 15 ans à venir et des capacités actuelles permet de repérer la taille des insuffisances probables des capacités de production. En temps normal et selon l'amplitude de ces insuffisances, des solutions peuvent être proposées et des renforcements seront programmés pour traiter ces déficits en stockage.

En temps de crise, il est recommandé, tout d'abord, de procéder à la détermination des situations de crises majeures. Il est ensuite envisagé plusieurs types de scénarios, qui amènent à reconsidérer et améliorer les solutions précédemment proposées.

- Investissements se rapportant aux diverses solutions examinées et impact sur le prix de revient de l'eau:

Cette phase vise à établir un lien entre les coûts d'investissement et de fiabilisation des services d'eau imposés par les normes et par les pénuries des ressources, et le prix payé par l'utilisateur. Les solutions proposées doivent être quantifiées et chiffrées pour connaître les frais et les coûts engendrés.

Par ailleurs, il paraît important de rentrer dans une phase de comparaison, de confrontation des différentes approches proposées. Il paraît que les schémas directeurs permettent de traiter de problèmes différents, notamment ceux qui dépendent des contraintes rencontrées sur le réseau au cours des dernières années, des projets d'aménagements futurs et des objectifs préalablement fixés. Cependant, le schéma directeur a pour objet de définir des aménagements qui se justifieront non seulement vis-à-vis des besoins à satisfaire pour une

période déterminée (souvent 15 ans) mais aussi pour faire face à des situations de crise pouvant affecter la ressource et la distribution.

En effet, il semble que le schéma directeur ne donne pas une vue d'ensemble du fonctionnement du réseau mais, il répond seulement aux problèmes soulevés.

Le schéma directeur doit être accompagné d'un cahier des charges et d'un organigramme de fonctionnement.

Les données de base nécessaires pour entamer ces analyses peuvent être présentées comme suit :

- Données physiques :

Outre les plans du réseau, il est nécessaire de connaître les âges des canalisations, leurs matériaux, les courbes hydrauliques des pompes c'est-à-dire les caractéristiques des ouvrages pour le captage, la distribution et le stockage.

- Données hydrauliques:

Volumes de consommation journalière en moyenne et en pointe, volumes de consommation des gros consommateurs, volumes de consommation avec compteur, volumes de consommations sans compteur, les variations saisonnières et les coefficients de pointe, les débits des ressources, volumes produits annuels, pertes en eau, volume de la réserve d'incendie

- Données sur la ressource:

Le nombre de ressources, leur environnement, leur protection, leur vulnérabilité, les caractéristiques physico-chimiques, biologiques, ...de l'eau provenant de ces ressources, volumes journaliers et annuels produits par les différentes ressources.

- Qualité de l'eau distribuée:

Les résultats des analyses par ressource et par mélange des différentes ressources.

- Fonctionnement du réseau:

Rendements, indice linéaire de pertes, indice linéaire de fuites, recensement des incidents, courbe de marnage des réservoirs, temps de séjour dans le réseau.

- Sécurité:

Système de lutte contre les incendies : localisation et nombre de poteaux et de bouches, pression et débit à chaque borne et sécurité du système face aux incidents.

- Besoins:

Un certain nombre de grandeurs statistiques sont de grande utilité : Statistiques de la population, statistiques de consommation selon le type d'usagers, statistiques des coefficients de pointe, prévision d'évolution de la population, recensement des plans d'occupation des sols et des projets de développement, nombre d'abonnés et son évolution depuis 5 ans.

Les analyses précédentes nous amènent à bien délimiter le rôle des schémas directeurs et de préciser les objectifs que doivent atteindre les indicateurs à créer. En se basant sur les données et les indicateurs, il est possible d'organiser un classement des indicateurs relatifs aux schémas directeurs des villes : (tableau 58)

Tableau 58 : Classement des indicateurs (Bue et all., 1992)

Type d'indicateur	Caractéristiques
Qualité de l'eau	Qualité de l'eau distribuée, actuelle et future
Qualité du service	Comptage, continuité du service, facturation de l'eau
Qualité de l'équipement	Description physique, vieillissement, rendement
Situation hydraulique	Situation hydraulique actuelle et future
Adéquation du système	Adéquation aux besoins actuels et futurs et à la ressource du point de vue de la production
Fiabilité	Maintenance, renouvellement, défaillances et vulnérabilité
Sécurité	Sécurité incendie et du système en cas de crise

V.5. Conclusion

La démarche présentée constitue une schématisation basée essentiellement sur l'exploitation et le traitement des informations et des données. Son utilisation implique la mise en place des dispositions nécessaires au recueil des différentes informations relatives au système d'eau potable. Les différentes filières de l'eau potable doivent être dotées d'équipements et d'instruments de mesures et de contrôle. Les types d'informations et de données

indispensables à l'application correcte et objective de cette démarche sont bien répertoriés et facilement accessibles.

Par ailleurs, cette schématisation permet de mettre en valeur la qualité de gestion, ainsi que les dangers et difficultés présentes ou latentes sur les systèmes d'alimentation en eau potable. Elle peut représenter le meilleur outil pour rendre performant les ouvrages d'eau potable. Son application, pour qu'elle soit le plus profitable possible, devra être précédée d'une concertation entre les acteurs afin que les objectifs, les informations à recueillir et les points à surveiller soient clairement définis.

Nous avons mis en évidence l'importance des indicateurs de performance qui servent et qui serviront de plus en plus aux responsables de régulation et aux exploitants pour communiquer, évaluer, représenter le fonctionnement de l'ouvrage. Ces mêmes indicateurs deviennent par conséquent, une mesure de référence à partir de laquelle les décisions du maintien et/ou d'amélioration des installations sont prises.

Ces indicateurs sont avérés finalement, la clef d'entrée d'une démarche de diagnostic stratégique préalable à toute intervention mais aussi stratégique car elle est considérée comme un support de prévision des dépenses.

Conclusion générale

Ce travail trouve son origine dans le constat des grandes difficultés qui touchent la prestation publique d'alimentation en eau potable, apparemment dans l'ensemble des régions du pays. Un constat qui se montre alarmiste sur l'état des ressources en eau ainsi que sur la non conformité quantitative et qualitative de l'eau du robinet dans de nombreuses villes.

Nous sommes revenus sur le passé et nous avons interrogé les circonstances d'une évolution de l'approvisionnement en eau potable à une échelle mondiale. Cette évolution a été le résultat d'un mouvement hygiéniste et sanitaire pendant la deuxième partie du XIXe siècle, en réponse aux épidémies de maladies meurtrières du début du siècle.

Un bref regard sur la situation hydrique en Algérie nous a conduit à l'hypothèse que les multiples facettes du problème, au delà des spécificités nationales, peuvent être ramenées à la défaillance d'un modèle de gestion.

Les risques d'appauvrissement des ressources en eau imputables à d'éventuels changements climatiques dans le sens d'une " aridification ", sont à prendre sérieusement en compte, d'autant que la pression exercée sur ces ressources ne cessera de s'amplifier sous les effets conjugués de la croissance démographique et des politiques appliquées vis-à-vis des activités consommatrices d'eau, notamment l'agriculture, l'industrie et le tourisme.

Cette situation liée à la faiblesse de la ressource, aggravée par la sécheresse, impliquera ipso facto entre les différents utilisateurs des conflits sérieux qui nécessiteront inmanquablement des arbitrages malaisés pour les pouvoirs publics, et ce d'autant que les besoins en l'alimentation en eau potable seront multipliés par 2,5 environ et qu'ils représenteront pratiquement 40 % des ressources mobilisables vers l'an 2025.

Il faut souligner que dans sa dynamique de développement l'Algérie n'a pas accordé à l'hydraulique toute l'attention qu'elle mérite. Il en résulte, dès lors, un retard fort préjudiciable qui affecte aujourd'hui le développement général du pays et qui empoisonne la vie quotidienne du citoyen.

Les démarches d'évaluation des consommations et les méthodes d'analyse des systèmes d'alimentation en eau potable utilisées par les concepteurs deviennent de plus en plus des aides pour les gestionnaires. Ces nouvelles utilisations ont pour conséquences des exigences plus grandes dans le domaine de la précision des calculs. Ces constatations ont conduit à entreprendre un travail de terrain et de réflexion qui portait sur la détermination par mesure

des caractéristiques relatives aux consommations et aux réseaux de distribution d'eau potable. Pour ce faire, nous nous sommes appuyés sur une forme particulière de mesures des volumes produits, consommés et mis en distribution. Cette forme consistait à mesurer les consommations domestiques des trois agglomérations testées à travers trois panels d'abonnés pour lesquels les conditions de base sont vérifiées.

Les objectifs de notre travail étaient :

- de définir une démarche d'évaluation et d'analyse des réseaux d'eau potable et de cerner les contraintes de l'insuffisance des données. Mettre en évidence que la connaissance des seules caractéristiques physiques des canalisations est insuffisante pour évaluer la fiabilité des systèmes de distribution.

- d'établir une nouvelle démarche d'évaluation et de diagnostic technique des systèmes d'alimentation en eau potable en fonction des informations que l'exploitant peut disposer.

Le travail entrepris a permis de mettre en évidence l'importance de la connaissance et de la maîtrise du fonctionnement des systèmes de distribution d'eau potable dans la région de Biskra.

Les données déduites des factures établies par l'exploitant comportent trop d'incertitudes et leur exploitation risque de ne pas refléter la réalité du système de distribution. Ces incertitudes nous ont conduit pour évaluer la demande et les pertes d'eau à nous appuyer, dans un premier temps sur les mesures de consommations à partir d'un panel d'abonnés domestiques pour lesquels une évaluation de la demande en eau a été réalisée et extrapolée ensuite à l'ensemble de la population puis dans un second temps, sur les mesures des débits de nuit distribués dans trois villes dans la région de Biskra.

Les mesures réalisées et les résultats obtenus ont montré que :

- les consommations domestiques moyennes par abonné, varient entre 372 et 605 l/j/abonné. et que les coefficients de variations journalières sont assez faibles : (0.86 et 1.14).

- les dotations moyennes de la consommation en eau potable en l/j/habitant des trois populations au cours de la période 1995 – 2004 se présentent comme suit :

Dotation (l/j/habitant)

	avec compteur	mesurée
Biskra	50 – 74	75
Tolga	63 – 86	66
Sidi-Okba	46 - 75	48

- les variations de la consommation journalière sont généralement faibles et leurs modulations par rapport à la moyenne ont permis de calculer les facteurs de pointe journaliers dont les valeurs sont comprises entre 1.08 et 1.14.

	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
Biskra	0.89	0.91	0.97	1.13	1.14	1.03	0.92
Tolga	0.86	0.91	1.08	1.10	1.13	1.05	0.86
Sidi Okba	0.93	1.06	0.96	1.08	1.07	0.99	0.92

- les variations horaires sont déterminées pour les trois agglomérations testées suivant le même découpage horaire et que les facteurs de pointe horaires sont compris entre 2.10 et 2.74

	00 h – 07 h	07 h – 10 h	10 h – 13 h	13 h – 20 h	20 h – 24 h
Biskra	0.40	1.40	2.10	1.30	0.40
Tolga	0.28	1.97	2.74	0.97	0.28
Sidi-Okba	0.39	2.4	2.35	0.78	0.39

- les coefficients de pointe des consommations domestiques en eau potable à Biskra, Tolga et Sidi-Okba sont respectivement : 2.39, 3.09 et 2.54

- les pertes d'eau dans les réseaux s'établissent autour de 58 à 69 %.

- les pertes dans les villes testées de la région sont évalués à 58 % à Biskra, 69 % à Tolga et 66 % à Sidi-Okba par l'étude comparative entre la production et la demande en eau et de 39 % à Biskra, 46 % à Tolga et 49 % à Sidi-Okba par mesure des débits nocturnes.

- la surconsommation due au manque de compteur pouvait se situer autour de 20 % mais que ce chiffre devait être pris avec précaution, car résultant d'incertitudes sur les consommations publiques et industrielles. Les estimations des surconsommations exprimées en pourcentage des volumes produits sont :

Biskra : 9422 m³/j soit 19%

Tolga : 1930 m³/j soit 23%

Sidi-Okba : 914 m³/j soit 17%

- les ratios de fonctionnement et de performance des systèmes de distribution ne présentent aucune conformité avec les valeurs guides de ces ratios. Les rendements primaires des différents réseaux testés sont très faibles et leurs valeurs sont de l'ordre de 30 %. Les indices linéaires de pertes déterminés par trois manières différentes dépassent largement les valeurs guides ce qui implique les mauvaises conditions dans lesquelles évoluent les systèmes de distribution de la région de Biskra. Les valeurs des indices linéaires de pertes obtenues dans les villes de Biskra, Tolga et Sidi-Okba se présentent de la manière suivante :

	ILP (m ³ /j/km)			Guide
	Type A	Type B	Type C	
Biskra	91	106	95	19 – 23
Tolga	49	54	54	12 – 19
Sidi-Okba	39	47	48	10 - 12

Les indices linéaires de fuites qui constituent de véritables indicateurs techniques de l'étanchéité des réseaux sont anormalement élevés. Ils traduisent l'absence totale de la fiabilité et un grand manque de performances dans l'ensemble des systèmes étudiés. Les valeurs obtenues s'élèvent à 54 m³/j/km à Biskra, 35 m³/j/km à Tolga et 33 m³/j/km à Sidi-Okba. Alors que les valeurs guides de cet indice sont : 1 à 3 m³/j/km dans les zones rurales et 7 à 12 dans les zones urbaines.

Les résultats des indices linéaires de consommation conduisent à des valeurs assez faibles. Cet indicateur de performance constitue un outil de vérification et de contrôle de la bonne

exploitation des réseaux de distribution. Les valeurs réalisées étaient entre 47 et 63 à Biskra, de 21 à 26 à Tolga et de 22 à 30 à Sidi-Okba.

Les résultats obtenus donnent une base d'évaluation des besoins en eau domestique dans les agglomérations du sud algérien à prendre en compte dans les aménagements futurs. Ils permettent la mise au point des données de la connaissance du réseau, de ses performances et des consommations d'eau.

Ils indiquent par ailleurs un taux de pertes dans les réseaux anormalement élevé et une surconsommation due à l'absence de compteurs. Il semble donc capital de généraliser l'utilisation des compteurs et d'entreprendre une réhabilitation des réseaux défectueux, ce qui nécessite des investigations supplémentaires pour localiser les tronçons les plus fuyards.

A ce sujet, Il nous semble incontournable de procéder, à court terme, à l'installation de compteurs chez les différents abonnés selon un programme qui tient compte des consommateurs suivant leur degré d'importance. Il serait important de poursuivre la mise en place de compteurs généraux et de sectorisation des réseaux afin de mieux cerner les tronçons défectueux. Ces actions doivent être suivies par la mise en œuvre d'une stratégie d'exploitation visant à optimiser le service rendu aux usagers et à assurer régulièrement les relevés des compteurs. Il est également nécessaire de développer des approches d'aides au choix des options techniques de réhabilitation des systèmes : renouvellement, rénovation.

L'efficacité de ces mesures pourra être démontré en renouvelant tout ou partie de l'étude présentée ici, immédiatement après la mise en place des mesures correctrices.

A long terme, il est impératif de procéder à l'élaboration de schémas directeurs pour programmer et hiérarchiser les opérations de renouvellement des réseaux et prévoir les investissements futurs.

L'ensemble des réflexions doit converger vers une optimisation de l'utilisation de la ressource afin de la préserver et de retarder voir d'éviter la réalisation de nouveaux investissements.

Quels que soient les démarches envisagées pour passer à un système capable de distribuer une eau satisfaisante tant en quantité qu'en qualité, il est fortement recommandé que l'utilisation des ressources en eau soit liée étroitement aux demandes des usagers. Cette alternative revient, pour les prestataires, à étudier précisément les paramètres de la demande en eau, et

éventuellement à impliquer les usagers dans les opérations de maîtrise de la demande lorsqu'une pénurie quantitative de ressources en eau se présente.

Par ailleurs, la démarche proposée dans cette thèse permet de mettre en valeur la qualité de gestion, ainsi que les dangers et difficultés présentes ou latentes sur les systèmes d'alimentation en eau potable. Elle peut représenter le meilleur outil pour rendre performant les ouvrages d'eau potable. Son application, pour qu'elle soit le plus profitable possible, devra être précédée d'une concertation entre les acteurs afin que les objectifs, les informations à recueillir et les points à surveiller soient clairement définis.

Cependant, comme elle est basée sur l'organisation et le traitement des données, elle demande des efforts importants pour les services des eaux, qui la plupart du temps ne ressentent pas le besoin de consigner certaines informations techniques.

Les sept fonctions générales sur lesquelles repose cette démarche les fonctions que doit remplir le système de distribution.

Une approche d'analyse par filière a été entreprise dans laquelle chaque filière du système d'alimentation en eau potable est soumise à une démarche d'analyse, de contrôle, de mesures et de gestion technique. La méthodologie proposée est consacrée à la présentation de toutes les méthodes et techniques relatives à la gestion technique des trois phases principales d'un schéma général d'alimentation en eau potable. Les filières concernées par cette méthodologie sont :

Ressource, production et distribution d'eau potable.

La validation de la démarche d'analyse peut faire ressortir la complexité du problème du traitement des données. Si celles-ci font défaut, il faut procéder tout de même à leur préparation selon les besoins prioritaire à la mise en application de la démarche.

La méthode proposée peut devenir un outil très utile pour définir les informations qu'il serait intéressant d'obtenir afin d'avoir une meilleure vue sur l'ensemble du système ou sur un point particulier de la gestion d'une filière.

Cette méthode de diagnostic et de gestion technique ne peut pas être mis en application immédiatement dans la région de Biskra. Elle nécessitera une première phase pour la mise en place des équipements de mesures et de contrôle adéquats. En effet, une seconde phase sera consacrée à la mise en œuvre des équipements et instruments de contrôle et à la réalisation des différentes mesures. La recherche et l'exploitation des données demandent un temps non négligeable, voire important lorsque celles-ci sont dispersées ou insuffisantes. Elle demande

un minimum de préparation, et de temps d'élaboration, ce qui peut constituer un handicap pour l'exploitant.

Il serait donc très intéressant de procéder à une validation par partie de cette méthode.

Références Bibliographiques

1. Actes des assises sur l'eau, (1995), Ministère de l'environnement et de l'aménagement du territoire.
2. Agence de l'eau, (1992) :«Sécurité de l'alimentation en eau potable en milieu non strictement urbain. Elaboration d'un guide méthodologique », Etude inter agences, hors série, 25 p.
3. AGHTM commission 'Distribution de l'eau', (1990) :«Rendements des réseaux d'eau potable. Définition des termes utilisés », TSM-L'EAU, numéro spécial, n°4, pp.5-22.
4. AGHTM commission 'Distribution de l'eau', (1993) :«Etude sur le renouvellement des réseaux d'eau potable », TSM-L'EAU, n°11bis, pp.1-37.
5. AGHTM commission 'Distribution de l'eau', (1995) :«Qualité de l'eau dans les grands réseaux de distribution », TSM-L'EAU, numéro spécial, n°11, pp.561-594.
6. American Water Works Association, (1993) American Society of Civil Engineers, American Water Resources Association.: Proceedings of Conserv' 93, The new Water agenda, 1993, Las Vegas, Nevada, USA.
7. ANAT (2003): « Schéma directeur des ressources en eau dans la wilaya de Biskra », Rapport de synthèse, phase II, Agence nationale d'aménagement du territoire, pp. 29-33.
8. Anderson L. (1988): « Fire and Disease: The development of Water Supply Systems in New England, 1870-1900», p.p 137-156.
9. Berland J. M., Cambon S., de Gouvello B., Laterrasse J. et Zhang M. Y., (1995) : « La place des usagers dans la gestion et dans la régulation des réseaux urbains », plan urbain, LATTS, 152 p.
10. Brémond B., Berthin S., (2002) : «Reliability of drinking water supply », Cemagref de Bordeaux, France.
11. Besson J., (1992) :«La redondance des systèmes d'automatismes dans les stations de production d'eau potable », TSM-L'EAU, n°11, pp.571-579.
12. Beyeler C. (1991) : «Alimentation en eau potable et élimination des déchets des systèmes en crise, analyse comparative Etats-Unis – Etats-Unis sur la période 1960-1990 », thèse de doctorat de l'université Paris XII, Etats-Unis.
13. Bissardon A., Wacheux H., (1998) :«Les progrès récents dans les techniques et les méthodes de prévention et de détection des fuites », journal water supply, vol. 6, section 8, pp. 1-13.
14. Bissery C., (1994) :«La détection centralisée des fuites sur les réseaux d'eau potable par réseaux de neurones », thèse de doctorat, INSA de Lyon, France ;
15. Bittner K., Husson Mareux M. H., (1995) :«Sécurité de la distribution d'eau potable », Environnement et Technique, info déchets courants, n°147, pp.47-52.
16. Brémond B., (2004) :«Mesurer le vieillissement d'un réseau d'eau potable », journal courants, vol. 26, pp. 21-28.
17. Bue J. P., Guilhaudin P., Delaye M., (1992) :«Approche fiabiliste pour améliorer la sécurité de l'alimentation en eau potable d'une grande agglomération », TSM-L'EAU, n°11, pp.559-564.
18. Cambon S., (1996) : «Services d'eau potable : de la logique d'offre à la maîtrise de la demande. Comparaison France-Etats-Unis », thèse de doctorat, Ecole nationale des ponts et chaussées, France.

19. Chandeza P. (1988) : «Dimensions humaines et culturelles de l'objet eau à travers différents discours », rapport du laboratoire de recherche en sciences sociales, syndicat d'enseignement agronomique et de recherches agricoles, Etats-Unis, 175 p.
20. Conférence ministérielle de la HAYE, (2000).
21. Compagnie Générale des Eaux, (1992) : «Histoire du syndicat des eaux d'Ile de Etats-Unis », Paris, Etats-Unis.
22. Conseil national économique et social, (2004) : « L'eau en Algérie : le grand défi de demain », Avant-projet de rapport, Commission de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement.
23. DGAIH, ANRH, Groupement BETURE/CARL BRO CES SALZGITER, (1997) : « Plan National de l'eau. Cartographie et évaluation des ressources en eau souterraines, régions : Oranie Chott Chergui, Chélif Zahrez, Algérois Soummam Hodna et Constantinois Seybouse Méllègue.
24. DGAIH, Groupement BETURE/CARL BRO CES SALZGITTER, (1997) : « Plan National de l'eau. Volet ressources en eau, évaluation des ressources en eau superficielle, régions : Oranie Chott Chergui, Chélif Zahrez, Algérois Soummam Hodna et Constantinois Seybouse Méllègue.
25. Deb A. K., (1994) :«Water distribution system performance indicators », journal water supply, vol. 12, n°3/4, pp. 11-20.
26. Eisenbeis P., (2004) :«L'analyse statistique des défaillances appliquées au renouvellement des réseaux d'eau potable », Journal tribune de l'eau, n°2, pp. 13-24.
27. Evins C., Dolphin T., (1990) :«Defining the scale of the problem : putting the customer first, an approach to the rehabilitation of mains based on service to the customer », journal water supply, vol. 8, pp. 141-147.
28. Foucault T., (1999) :«La disconnexion dans les réseaux de distribution d'eau », Aqualogie, n°12, pp.20-26.
29. Frontin in Grimal P., (1961) :«Les aqueducs de la ville de Rome », Edition Les belles lettres, 113 p., Paris, France.
30. Garadi A., (1992) : « Prospective des besoins en eau et anticipation de la demande. De la théorie à la modélisation. Application à l'Algérie », thèse de doctorat de l'université Pierre Mendès, Grenoble, Etats-Unis.
31. Gauriau G., Devauchelle V., (1996) :«La maîtrise des réseaux de distribution d'eau potable, valorisation avancée des débits acquis en continu », journal TSM, techniques-sciences et méthodes, n°2, pp. 121-126.
32. Guillerme A., Goubert J., P.(1983) : «Genèse des réseaux de distribution d'eau dans la Etats-Unis contemporaine.In, les réseaux techniques urbains, histoire contemporaine », séminaire international, décembre, ENPC, Paris, France.
33. Habibian A., (1992):«Developing and utilizing data bases for water main rehabilitation », journal AWWA, pp. 75-79.
34. Houillon D., (1995) :«Caractérisation de la qualité de service des réseaux anciens d'eau potable en vue de leur renouvellement », thèse de doctorat en génie de l'environnement, ENGEES-ULP, Strasbourg, France.
35. Kerneis A., (1994) : «Le contrôle de la qualité de l'eau potable : méthodes de quantification des réseaux de distribution », thèse de doctorat, laboratoire de chimie analytique, INA de Paris, France.
36. Kettab, A. (2002) : « Water resources : realities, perspectives, strategies, stakes and vision, 4th international symposium on water, Palais des festivals, Cannes, France.

37. **Kettab, A., Masmoudi, R., Brémond, B. (2006) : « Analyse de la distribution d'eau potable dans le Sud algérien. Cas de la région de Biskra », 3ème conférence internationale sur les "Ressources en Eau dans le Bassin Méditerranéen" WATMED3, Tripoli, Liban.**
38. Koster E., (1981): «Sensory evaluation of drinking water by consumer panels », the science of the total environment, Vol. 18, pp.155-166.
39. Le Gauffre P., Bou Nader E., Malandain J., Bennis S., (1996) :«La conduite du diagnostic des infrastructures urbaines de l'eau et de l'assainissement », Proc. Les nouvelles infrastructures urbaines à l'heure du développement durable, 9^{ème} entretiens du centre J. Cartier, Montréal, Canada.
40. Lofsten H., (1998):«Maintenance of municipal infrastructure », journal of infrastructure systems, vol.4, n°4, pp.139-145.
41. Lorain D., (1996) : «Les services urbains en Etats-Unis, 1982-1992, privatisation silencieuse et gestion municipale flexible », séminaire sur la privatisation des services urbains en Europe, Poitiers, Etats-Unis.
42. Lorain D., Cambon S., (1992) : «La participation des citoyens / utilisateurs aux décisions des organes publics chargé de la gestion des services locaux en Etats-Unis. Rapport réalisé pour le conseil de l'Europe.
43. Malandain J., (1999) : «Modélisation de l'état de santé des réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de la maintenance », thèse de doctorat, INSA de Lyon, France.
44. Margat, J. (2000) : « Combien d'eau utilise-t-on et use-t-on? », La Houille Blanche, n°2, pp.12-15.
45. Masmoudi, R., Kettab, A., Brémond, B. (2005) : «Analyse des consommations et des pertes d'eau potable dans le sud algérien », Sixième conférence internationale de l'association Européenne des ressources en eau, Menton, France)
46. Masmoudi, R., Kettab, A., Brémond, B. (2004): «Analysis of the distribution of drinking water in the Algerian south. Case of Biskra's region», Al-Azhar engineering eighth international conference, Cairo, Egypt.
47. Masmoudi, R., Kettab, A., Brémond, B., (2005) : « Pertes d'eau potable en zones arides. Cas de la région de Biskra-Algérie », Colloque international su La ville au Sahara et dans le désert, IREMAM, Aix-en-Provence, France.
48. Masmoudi, R., Kettab, A., Brémond, B.,(2006) : «De la connaissance des consommations vers la maîtrise des dépenses des aménagements hydrauliques », Symposium international de l'eau, Cannes, France.
49. Masmoudi, R., Kettab, A., Brémond, B., (2005): «Analysis of the distribution of drinking water in the Algerian south. Case of Biskra's region», Al-Azhar universiyy engineering journal, vol. 8, n°1, pp.250-254.
50. Mouhica J., (1995): «Etude diagnostique du système d'alimentation en eau potable du syndicat de la vallée de la Bidassoa », Mémoire ENGEES-Lyonnaise des eaux, 143 p.
51. Organisation des nations unis pour l'alimentation et l'agriculture, (1992) : « Bilan des activités des établissements hydrauliques – Centre d'investissement Programme de coopération FAO- Banque mondiale », Rapport 4/92 CP-ALG 36 du 20 janvier 1992, Rome.
52. Projet RAB/08/011, (1987) : « Ressources en eau dans les pays de l'Afrique du Nord », Rapports techniques Volume 2.

53. Salem, A. (1998) : « Rapport national sur l'eau potable en Algérie », Alger.
54. Service de la documentation du Conseil national économique et social,(1998) : « Presse-book », consacré à l'hydraulique.
55. Sundhal A., (1997) :«Geographical analysis of water main pipe breaks in the city of Malmo, Sweden », journal Aqua, vol. 46, n°1, pp. 40-47.
56. Tillman D., Larsen T. A., Pahl-Wosti C., Gujer W., (1998): «Modelling the actors in water supply», proc. Application of models in water management, Amsterdam, Nederland, pp.125-132.
57. Volk C., Joret J. C., (1994) : «Paramètres prédictifs de l'apparition des coliformes dans les réseaux de distribution d'eau d'alimentation », Revue sciences de l'eau, vol.7, pp.131-152.
58. Woodburn J., Lansey K., Mays L. W., (1987) :«Model for the optimal rehabilitation and replacement of water distribution components », Proc. Hydraulic engineering, Atlanta, pp.606-611.

Liste des figures :

- Figure 01 : Evolution du nombre total d'abonnés domestiques
- Figure 02 : Evolution du nombre total d'abonnés domestiques avec et sans comptage
- Figure 03 : Nombre d'abonnés domestiques par localité
- Figure 04 : Taux d'utilisation du comptage entre 1995 et 2004
- Figure 05 : Evolution du nombre total d'abonnés commerciaux et publics
- Figure 06 : Evolution du nombre d'abonnés commerciaux et publics avec et sans comptage
- Figure 07 : Evolution du nombre d'abonnés commerciaux et publics par localité
- Figure 08 : Taux d'utilisation du comptage entre 1995 et 2004
- Figure 09 : Prélèvements Annuels globaux en eau potable dans la région de Biskra (1995-2004)
- Figure 10 : Prélèvements annuels en eau potable par localité
- Figure 11 : Evolution des prélèvements en eau potable avec et sans comptage
- Figure 12 : Prélèvements individuels moyens en eau potable dans la région de Biskra
- Figure 13 : Prélèvements individuels moyens en eau potable par localité
- Figure 14 : Prélèvements individuels moyens en eau potable avec et sans comptage
- Figure 15 : Variations saisonnières des prélèvements domestiques en eau avec comptage
- Figure 16 : Evolution des prélèvements annuels en eau des commerces et établissements publics
- Figure 17 : Prélèvements annuels en eau des commerces et établissements publics avec et sans comptage
- Figure 18 : Prélèvements annuels en eau des commerces et établissements publics par localité
- Figure 19 : Evolution de la consommation industrielle totale en eau potable
- Figure 20 : Evolution des consommations d'eau potable par industrie
- Figure 21 : Courbes de fréquences des consommations domestiques journalières mesurées
- Figure 22 : Répartition inter journalière de la consommation mesurée en eau potable
- Figure 23 : Courbes de fréquences de la consommation horaire domestique mesurée
- Figure 24 : Variations horaires de la consommation domestique mesurée en eau potable
- Figure 25 : Production annuelle totale d'eau potable dans la région de Biskra
- Figure 26 : Productions annuelles d'eau potable par localité
- Figure 27 : Productions brutes par habitant en eau potable

Liste des tableaux :

- Tableau 01 : Répartition spatiale des eaux souterraines du Nord de l'Algérie
- Tableau 02 : Prélèvements possibles des eaux souterraines en région arides algériennes
- Tableau 03 : Répartition spatiale des eaux de surface
- Tableau 04 : Variation interannuelle des apports au niveau de certains barrages (1943 – 1993)
- Tableau 05 : Volume de prélèvement par type de ressource
- Tableau 06 : Forages alimentant la ville de Biskra en eau potable
- Tableau 07 : Forages alimentant la ville de Tolga en eau potable
- Tableau 08 : Forages alimentant la ville de Sidi-Okba en eau potable
- Tableau 09 : Caractéristiques des différentes adductions dans la ville de Biskra
- Tableau 10 : Caractéristiques des différentes adductions dans la ville de Tolga
- Tableau 11 : Caractéristiques des différentes adductions dans la ville de Sidi-Okba
- Tableau 12 : Caractéristiques géométriques du réseau d'eau potable de la ville de Biskra
- Tableau 13 : Capacités des réservoirs de stockage d'eau potable
- Tableau 14 : Coefficients de variations saisonnières de la consommation domestique en eau
- Tableau 15 : Bilan des consommations facturées
- Tableau 16 : Extrapolation des consommations domestiques facturées avec compteurs
- Tableau 17 : Tailles et constitutions des échantillons d'abonnés analysés
- Tableau 18 : Consommations journalières mesurées par type d'habitation
- Tableau 19 : Coefficients de variations journalières de la consommation domestique en eau
- Tableau 20 : Coefficients de variations horaires de la consommation domestique en eau
- Tableau 21 : Répartition des types d'habitation dans les trois villes
- Tableau 22 : Valeurs extrapolées des consommations domestiques mesurées
- Tableau 23 : Etat comparatif des volumes d'eau consommés
- Tableau 24 : Calcul des volumes domestiques brutes (VDB)
- Tableau 25 : Calcul des productions domestiques brutes par habitant (PDB)
- Tableau 26 : Prélèvements individuels moyens globaux (facturation)
- Tableau 27 : Prélèvements individuels moyens avec comptage
- Tableau 28 : Prélèvements individuels moyens sans comptage
- Tableau 29 : Prélèvements individuels mesurés
- Tableau 30 : Etat comparatif des PDB – Prélèvements individuels en eau potable à Biskra
- Tableau 31 : Etat comparatif des PDB – Prélèvements individuels en eau potable à Tolga

Tableau 32 :	Etat comparatif des PDB – Prélèvements individuels en eau potable à Sidi-Okba
Tableau 33 :	Volumes et taux de pertes par bilan ‘A’ : Production – consommation facturée
Tableau 34 :	Volumes et taux de pertes par bilan ‘B’ : Production – consommation totale
Tableau 35 :	Volumes et taux de pertes d’eau par bilan ‘C’ : Production – consommation totale
Tableau 36 :	Etat récapitulatif des taux de pertes d’eau par localité
Tableau 37 :	Débits de distributions nocturnes dans les zones testées
Tableau 38 :	Volumes et taux de pertes d’eau par mesures de débits nocturnes (extrapolation proportionnelle au nombre d’abonnés)
Tableau 39 :	Volumes et taux de pertes d’eau par mesures de débits nocturnes (extrapolation proportionnelle aux linéaires des réseaux)
Tableau 40 :	Rendements primaires des réseaux de Biskra au cours de la période 1995-2004
Tableau 41 :	Rendement primaire des systèmes d’eau potable en 2004
Tableau 42 :	Indices linéaires de pertes des systèmes d’eau potable en 2004
Tableau 43 :	Indices linéaires de pertes en 2004
Tableau 44 :	Indices linéaires de pertes en 2004
Tableau 45 :	Récapitulation des valeurs des indices linéaires de pertes calculés
Tableau 46 :	Valeurs guides de l’indice linéaire de pertes en fonction de la taille de la population
Tableau 47 :	Indices linéaires de fuites des systèmes d’eau potable de Biskra
Tableau 48 :	Indices linéaires de consommation d’eau potable en 2004 (type a)
Tableau 49 :	Indices linéaires de consommation d’eau potable en 2004 (type b)
Tableau 50 :	Indices linéaires de consommation d’eau potable en 2004 (type c)
Tableau 51 :	Valeurs guides des indices linéaires de consommations
Tableau 52 :	Indicateurs de performance
Tableau 53 :	Principaux signes de vieillissement et/ou de défaillance d’un forage
Tableau 54 :	Description et périodicités des contrôles par type d’appareil
Tableau 55 :	Types d’environnements
Tableau 56 :	Indice de la sécurité de l’approvisionnement en eau Sr en fonction des ressources de secours
Tableau 57 :	Valeurs guides des indices linéaires de consommations et de pertes
Tableau 58 :	Classement des indicateurs