



Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement
International Institute for Water and Environmental Engineering



OPTIMISATION DU TRAITEMENT AU CHLORE DE L'EAU POTABLE DISTRIBUEE A ARLIT ET AKOKAN (NIGER)

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU MASTER EN INGENIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT OPTION : Environnement

Présenté et soutenu publiquement le 25 Juin 2012 par

GADO Ali Seini Rachida

Travaux dirigés par : M. Olivier BOUSIGE (ZIE)

M. Farook ASSALACK (Areva Mines Niger)

Jury d'évaluation du stage :

Président : M. Harouna KARAMBIRI

Membres et correcteurs :

M. Olivier BOUSIGE

M. Boukary SAWADOGO

M. Armel YAPI

Promotion [2011/2012]

Je dédie ce mémoire de fin de formation à ma
chère famille et à mes cher(e)s ami(e)s

Remerciements

La réalisation de ce travail n'aurait pas abouti sans la participation et le soutien des institutions et personnes ci-dessous citées. Qu'ils trouvent ici le témoignage de ma plus profonde reconnaissance.

L'Agence Nigérienne d'Allocation de Bourse (ANAB), pour m'avoir accordé la bourse d'étude ;

L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2IE) représenté par le Professeur Hama YACOUBA, M. Razack SANOUSSI, M. Yacouba KONATE, pour m'avoir recommandé à AREVA MINES NIGER ;

AREVA MINES NIGER représenté M. Ibrahim COURMO, M. Yannick LOZAC'H, M. Harouna DOUNDO, M. Souley, Mme Bassira et M. Yacouba GAMATIE, pour m'avoir accepté en stage et pour les conditions de stage favorables ;

M. Farook ASSALACK, Chef de l'équipe hydrogéologie de AREVA MINES NIGER, pour son esprit d'ouverture, son hospitalité, sa constante présence malgré ses multiples occupations, sa patience, sa confiance et pour la transmission de son immense savoir-faire et de son savoir être ;

M. Olivier BOUSIGE, Directeur Adjoint de technopole à 2IE pour sa disponibilité, sa spontanéité et pour ses commentaires et remarques judicieux pour l'amélioration de ce travail ;

M. Boukary SAWADOGO, Ingénieur de Recherche pour ces remarques et suggestions et sa disponibilité à répondre toujours à mes multiples interrogations techniques ;

M. Armel Yapi, Doctorant à 2IE pour sa constante disponibilité, sa spontanéité, la qualité de ses multiples critiques et suggestions, sa patience ;

M. Idrissa Sangaré, Doctorant à 2IE pour son soutien ;

A l'équipe d'Hydrogéologie d'AREVA Mines NIGER, pour son hospitalité, sa disponibilité, et ses encouragements ;

Aux groupes : QSE, Géologie, Division Urbaine et Travaux Neufs de la SOMAIR, pour leur accueil, leur disponibilité et leur esprit d'ouverture ;

Au groupes : QSE et LO de la COMINAK pour leur accueil et leur disponibilité ;

M. TCHIANY, expert en installation d'eau de l'entreprise NALCO, pour sa disponibilité et sa patience ;

M. Marah MAMANE, Géologue à AREVA pour son aide précieux et ses encouragements ;

A tout le personnel d'AREVA MINES NIGER- Base Cofitech (Arlit), pour son hospitalité sans faille ;

A toutes les personnes que j'ai éventuellement omises plus haut et qui m'ont été d'une aide quelconque, trouvez ici l'expression de ma gratitude.

Résumé

La production d'une eau de bonne qualité est le but premier d'un service d'approvisionnement en eau. Pour préserver et maintenir la qualité de l'eau, Arlit et Akokan, villes situées au Nord du Niger se sont engagées dans un processus d'amélioration continue. Les eaux de ces villes étant souterraines, elles ne subissent qu'une désinfection au chlore. Cependant à des faibles doses, ce désinfectant ne garantit pas la sécurité de l'eau de boisson du point de traitement jusqu'au dernier point desservi. Aussi à des fortes doses, il produit des substances sapides, source de plaintes du public d'où la nécessité de réguler son utilisation. L'atteinte de cet objectif passe inévitablement par la réalisation et l'interprétation de multiples analyses physico-chimiques et bactériologiques de l'eau prélevée. Les résultats des analyses physico-chimiques de 2009 à 2011 donnent des valeurs pH et de fer défavorables pour la chloration. Les analyses bactériologiques de 2007 à 2012 quant à elles, présentent en général des résultats annuels non conformes supérieurs à la norme nigérienne recommandée au niveau des deux villes. Plusieurs sources de pollution ont été identifiées dont celles liées à la contamination du matériel de prélèvement ou à la mauvaise désinfection du point de prélèvement, celles liées à l'échec ou à l'insuffisance de traitement et celles liées aux différentes interactions physico-chimiques et bactériologiques dans les réservoirs ou dans les canalisations. Ainsi, pour réguler la désinfection actuelle à l'hypochlorite de calcium, il est nécessaire que le dosage soit respecté. Afin de rendre le système plus autonome, tout en utilisant des produits locaux de moindre coût, un système automatisé de fabrication in situ d'hypochlorite de sodium par électrolyse de l'eau et du sel à l'aide des électrochlorateurs a été suggéré. Le retour sur investissement de l'achat des électrochlorateurs est moins de 6ans et 2mois pour la ville d'Artil et de 6ans 9mois pour la ville d'Akokan.

Mot clés : Eau potable, Traitement, Chloration, Optimisation, Electrochloration

Abstract

Quality water production is the primary purpose of a water service supplier. To preserve and maintain water quality, Arlit and Akokan cities located in northern Niger have been engaged in a process of continuous improvement. The waters of these cities are underground; they are purified through chlorine disinfection before distribution. However, when the break point is not reached, these disinfectants do not guarantee the potability of drinking water from treatment to provision. Also at high doses, it produces sapid substances which are the source of public complaints, thus its use has to be regulated. The achievement of this goal, inevitably involves the implementation of multiple physical, chemical and bacteriological analyses of sampled water. From 2009 to 2011 for physical and chemical Results, pH and iron values (Fe^{2+}) are the mains parameters for unfavorable chlorination. From 2007 to 2012, the bacteriological analyses in the two cities generally reveal annual results which do not comply with Niger standards. In view of these bacteriological unconformable results, several sources of pollution have been identified including those related to contamination of sampling equipment or improper disinfection of the sampling point, those related to failure or inadequate treatment and those related to different physical-chemical and biological interactions in storage tanks or water pipes. Thus, an accurate dose of hypochlorite of calcium must be introduced to regulate a current disinfection. In order to make the system more autonomous, while using local products with lower cost, an automated system for in situ production of sodium hypochlorite by electrolysis of water and salt using electrochlorators has been suggested. The Return on investment for these units is 6 years and 2 months for Arlit and 6 years and 9 months for Akokan.

Keywords: Drinking water, Treatment, Chlorination, Optimization, Electrochlorination

Sigles et Abréviations

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AMAN : Eau

Ca(ClO)₂ : Hypochlorite de Calcium

Ca²⁺ : Calcium

ClO₂ : Bioxyde de Chlore

Cl₂ : Chlore gazeux

ClO⁻ : Hypochlorite

COMINAK : Compagnie Minière d'Akouta

COMI : Puits COMINAK

CT : Coliformes Totaux

°C : Degré Celsius

DN : Diamètre nominal

DPD : Diéthyl para-Phénylène Diamine

°f : Degré Français

Fe²⁺ : fer

Max : Maximales

MES : Matières en Suspension

Mg²⁺ : Magnésium

mg : milligramme

Min : Minimales

Moy : Moyennes

N : Nord

NaCl : Chlorure de Sodium

NaClO : Hypochlorite de Sodium

NCl₃ : Trichloramine

NHCl₂ : Dichloramine

NH₂Cl : Monochloramine

NO₃⁻ : Nitrates

HClO : Acide Hypochloreux

HL₁, HL₂, SL₁ : Capteurs de niveau

HTH : Hypochlorite de Calcium

OFSP : Office fédéral de la Santé Publique de la Suisse

OH⁻ : Ion Hydroxyde

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PEHD : Poly Ethylène Haute Densité

pH : potentiel Hydrogène

Q : Débit

SEEN : Société d'Exploitation des Eaux du Niger

SF : Streptocoques Fécaux

SOMAIR : Société des Mines de l'Air

SMTT : Société des Mines de Tassa N'Tegalgué

TAC : Titre Alcalimétrique Complet

Tc : Temps de contact

TH : Titre Alcalimétrique (dureté totale)

UFC : Unité Formant Colonie

µm : micromètre

ZI : Zone Industrielle

Table des matières

Remerciements	iii
Résumé	v
Abstract	vi
Sigles et Abréviations.....	vii
INTRODUCTION.....	1
CHAPITRE I: GENERALITES	2
I.1 Présentation de la structure d'accueil.....	3
I.2 Présentation de la zone d'étude	3
I.2.1 Situation géographique	3
I.2.2 Climat et végétation.....	4
I.2.2.1. Climat.....	4
I.2.2.2. Végétation	4
I.2.3 Hydrogéologie	4
I.2.4 Population.....	5
I.3 Présentation du réseau d'alimentation en eau potable des villes d'Arli et d'Akokan.....	5
I.3.1 Réseau d'eau potable de la ville d'Arli	5
I.3.1.1 Ressource en eau et conduite d'adduction de la ville d'Arli	5
I.3.1.2 Châteaux d'eau et Suppresseurs de la ville d'Arli.....	6
I.3.1.3 Stations de traitement de la ville d'Arli	6
I.3.2 Réseau d'eau potable de la ville d'AKOKAN.....	7
I.3.2.1 Ressource en eau et conduite d'adduction de la ville d'Akokan	7
I.3.2.2 Châteaux d'eau de la ville d'Akokan.....	8
I.3.2.3 Station de traitement de la ville d'Akokan	8
I.4 Synthèse bibliographique sur la désinfection de l'eau au chlore	10
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES.....	12

II.1. Matériel et procédures utilisés au niveau de la SOMAIR pour le suivi bactériologique de l'eau potable distribuée dans la ville d'Arli	13
II.1.1 Suivi du Traitement de l'eau	13
II.1.2 Prélèvements des eaux (Echantillonnage)	14
II.1.3 Analyses bactériologiques des eaux au Laboratoire	15
II.2 Matériels et procédures utilisés au niveau de la COMINAK pour le suivi bactériologique de l'eau potable distribuée dans la ville d'Akokan	16
II.2.1 Suivi du Traitement de l'eau	16
II.2.2 Prélèvements des eaux (Echantillonnage)	16
II.2.3 Analyses bactériologiques des eaux au laboratoire	17
II.2.4 Contrôle de chlore résiduel	17
CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS	19
III .1 Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la ville d'Arli	20
III 1 .1 Qualité Physico-chimique des eaux de la ville d'Arli	20
III.1.2 Qualité bactériologique des eaux de la ville d'Arli	20
III.1.3. Analyse du dysfonctionnement dans la chaîne du traitement et identification des sources de pollution de l'eau potable	23
III.2 Qualité physico-chimique et bactériologiques des eaux de la ville d'Akokan	26
III.2.1 Qualité Physico-chimique des eaux de la ville d'Akokan	26
III.2.2 Qualité bactériologique des eaux de la ville d'Akokan	28
III.2.3. Analyse du dysfonctionnement dans la chaîne du traitement et identification des sources de pollution de l'eau potable	32
III.3. Comparaison des systèmes de suivi de l'eau potable des villes d'Arli et d'Akokan	33
III.3.1 Prélèvements et analyses	33
III.3.2 Résultats bactériologiques	33
III.3.3 Traitement de l'eau	34
III.3.4 Mesure de chlore résiduel	34
III.4 Amélioration du système de traitement	35

III.4.1 Amélioration du mode de traitement actuel.....	35
III.4.1.1 Système du traitement de l'eau de la ville d'Arli.....	35
III.4.1 .2 Système du traitement de l'eau de la ville d'Akokan.....	35
III.4.2 Coût de traitement actuel	36
III.4.2.1 Coût du traitement actuel de l'eau de la ville d'Arli.....	36
III.4.2 .2 Coût du traitement actuel de l'eau de la ville d'Akokan.....	36
III.4.3 Système de Fabrication d'hypochlorite de sodium (NaClO) in Situ.....	37
III.4.3.1 Mode de fonctionnement de l'électrochlorateur	37
III.4.3.2 Equation de production de l'hypochlorite de sodium	40
III.4.3.3 Les Atouts de l'électrochloration.....	40
III.4.3.4 Les inconvénients de l'électrochloration.....	41
III.4.3.5 Coût de traitement à l'hypochlorite de sodium	41
Conclusion et Recommandations	43
BIBLIOGRAPHIE	45
ANNEXES	47

Liste des tableaux

Tableau 1: Valeurs du pH des eaux de la ville d'Arilit de 2009 à 2011	20
Tableau 2: Valeurs du fer dans les eaux de la ville d'Arilit de 2009 à 2011	20
Tableau 3: Résultats mensuels d'analyses bactériologiques des eaux traitées après l'installation de nouveaux équipements en Décembre 2011(Arlit).....	23
Tableau 4: Valeur du pH des eaux de la ville d'Akokan de 2009 à 2011	26
Tableau 5: Valeur de fer dans les eaux de la ville d'Akokan de 2009 à 2011	26
Tableau 6 : Résultats des mesures de chlore résiduel(Akokan)	28
Tableau 7: Résultats bactériologiques des eaux à l'amont de l'injection du chlore (Entrée des châteaux-Akokan)	30
Tableau 8: Récapitulatif des pourcentages de résultats non conformes des différents échantillons d'eau des villes d' Arlit et d'Akokan de 2007 à 2012	34
Tableau 9 : Coût annuel du traitement actuel de l'eau de la ville d' Arlit	36
Tableau 10: Coût du traitement actuel de l'eau de la ville d' Akokan.....	37
Tableau 11: Coût du sel pour le traitement de l'eau de la ville d'Arilit.....	41
Tableau 12 : Coût du sel pour le traitement de l'eau de la ville d'Akokan.....	41
Tableau 13: Bilan mensuel et annuel des analyses bactériologiques des eaux des forages de la ville d'Arilit.....	52
Tableau 14: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après l'installation de nouveaux équipements en Décembre 2011 (eaux de châteaux-Arlit)	53
Tableau 15: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après l'installation de nouveaux équipements en Décembre 2011 (eaux issues des points de consommation - Arlit).....	54
Tableau 16: Résultats des mesures de chlore résiduel à la sortie des châteaux d'eau et au niveau des points de consommation de Décembre à Février 2011 (Akokan)	59
Tableau 17: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques au niveau des forages de la ville d' Akokan.....	61
Tableau 18: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après l'installation de la station de traitement (eaux de châteaux-Akokan).....	62
Tableau 19: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après de la station de traitement(eaux issues des points de consommation-Akokan)	63

Liste des figures

Figure 1: Carte de situation géographique de la zone d'étude	4
Figure 2: Réseau d'alimentation des surpresseurs 1, 2 et de la zone industrielle (Arlit)	6
Figure 3: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ au niveau du surpresseur 1 et du surpresseur 2 (Réseau de la ville Arlit)	7
Figure 4: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans le groupe de châteaux Sud (Akokan).....	9
Figure 5: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans le groupe de châteaux Nord (Akokan).....	9
Figure 6: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans le réservoir de la zone industrielle (Akokan)	9
Figure 7: Principe du dosage au chlore dans le réseau de la ville d'Arlit	14
Figure 8: Lieux de prélèvement des échantillons d'eau (Arlit)	15
Figure 9: Lieux de prélèvements des échantillons d'eau au niveau des groupes de château Sud et Nord (Akokan).....	17
Figure 10: Lieux de prélèvements des échantillons d'eau au niveau de la Zone Industrielle (Akokan)	17
Figure 11: Prélèvements annuels des eaux de forages de la ville d'Arlit de 2007 à 2012	21
Figure 12: Prélèvements annuels des eaux de châteaux de 2007 à 2012(Arlit)	22
Figure 13 : Prélèvements annuels des eaux au niveau des points de consommation de 2007 à 2012 (Arlit).....	22
Figure 14: Prélèvements annuels des eaux de forages de 2007 à 2012 (Akokan).....	29
Figure 15: Prélèvements annuels des eaux de châteaux de 2007 à 2012 (Akokan)	31
Figure 16: Prélèvements annuels des eaux de point de consommation de 2007 à 2012 (Akokan).....	31
Figure 17: Dosage approximatif de HTH Figure 18: Agitation manuelle de la solution	33
Figure 19: Electrochlorateur (appareil générateur de NaClO)	39
Figure 20: Plan détaillé du dispositif de production de NaClO	40
Figure 21: Plan détaillé du réseau de refoulement de l'eau brute de la ville d'Arlit (Janvier 2012)....	49
Figure 22: Plan détaillé du réseau de refoulement de l'eau brute de la ville d'Akokan (Janvier 2012) 57	
Figure 23: Courbe de la demande en chlore (www://pravarini. free.fr /désinfectants.htm)	66

INTRODUCTION

Le maintien de la qualité de l'eau de la source au robinet est une préoccupation majeure de tous les traitants et distributeurs d'eau potable (SIBILLE, 1997). Arlit et Akokan, villes se situant dans la zone aride au Nord du Niger sont loin d'être épargnées de cette préoccupation. En effet l'eau desservie dans ces deux villes est de type souterrain (Projet AMAN, 2010), de ce fait peu chargée, ce qui en fait une ressource idéale pour la consommation humaine. Cependant avant d'être desservie, cette eau transite à travers des réservoirs et des réseaux de distribution. Ces derniers sont des véritables réacteurs où siègent de multiples interactions physico-chimiques et microbiologiques, d'où la nécessité de traiter l'eau avant sa desserte.

Du point de vue biologique, la préservation de la qualité de l'eau potable lors de son stockage et de son transport nécessite l'emploi de désinfectants comme le chlore. A une dose insuffisante, la desserte d'une eau de bonne qualité n'est pas garantie. Il présente aussi l'inconvénient de produire des substances sapides, source de plaintes du public sur les goûts et odeurs lorsqu'il est en excès (MONTEIL *et al.* 2003). Aussi la désinfection au chlore entraîne la formation de sous-produits (LEVALLOIS, 1997), par réaction du chlore avec la matière organique et les ions bromures contenus dans l'eau brute, d'où la nécessité d'optimiser son utilisation. C'est dans ce sens que ce travail, ayant pour objectif général de contribuer à l'amélioration de l'utilisation du chlore dans la potabilisation de l'eau des villes d'Artil et d'Akokan, nous a été proposé.

Plus spécifiquement, il s'agira de faire le point de l'existant (Matériel et procédures) tant en zones industrielles qu'urbaines, de relever et d'analyser l'historique des dysfonctionnements éventuels, d'identifier les sources possibles de pollution et de proposer une amélioration de l'efficacité en terme de traitement et de coût.

Ce présent rapport est structuré en trois grandes parties dont les généralités, les matériels et méthodes utilisés suivis de la partie résultats et discussions.

CHAPITRE I: GENERALITES

I.1 Présentation de la structure d'accueil

AREVA est une société de droit français créée en 2001. Elle regroupe les compagnies françaises actives dans le domaine de l'énergie électrique d'origine nucléaire dont AREVA MINES (ex AREVA NC). Cette dernière est elle-même composée de plusieurs branches correspondant à ses différentes activités.

Au Niger, AREVA MINES est présente à travers quatre entités que sont la SOMAÏR (Arlit), la COMINAK (Akokan), IMOURAREN SA et AREVA MINES NIGER.

AREVA MINES NIGER, est représentée dans sa base Cofitec à Akokan par le service des Géosciences auquel appartient le Projet AMAN.

Ce projet, a une mission de gestion durable de la ressource en eau de la région. Dans le cadre de cette mission, le Projet AMAN s'est fixé comme objectif principal : d'améliorer la connaissance des aquifères exploités en poursuivant l'étude de l'histoire hydrogéologique de la région et en prévoyant son évolution future à travers des modélisations hydrogéologiques et hydrogéochimiques.

Les objectifs de ce projet sont de :

- **Garantir la qualité de l'eau distribuée aux populations ;**
- Assurer l'approvisionnement en eau pour les années à venir ;
- Appuyer les sociétés minières pour les études hydrogéologiques liées aux dénoyages des gisements, et études d'impacts environnementales.

I.2 Présentation de la zone d'étude

I.2.1 Situation géographique

Située au cœur de l'Afrique, la république du Niger s'étend sur 1.267.000 km², entre les latitudes Nord 11°37 et 23°33 et les longitudes Est 0°66 et 16°. C'est un pays dont les 4/5 du territoire appartiennent aux zones sahariennes et présahariennes.

Le département d'Arlit se situe dans la région d'Agadez au nord du Niger. Elle se situe à 250 km au Nord-Ouest d'Agadez et à environ 850 km à vol d'oiseau au Nord-est de Niamey entre 17° et 20° de latitude Nord et 7° et 9° de longitude Est (*figure 1*).



Figure 1: Carte de situation géographique de la zone d'étude

I.2.2 Climat et végétation

I.2.2.1. Climat

Le climat est celui d'un désert aride chaud caractérisé par une forte température moyenne annuelle ($28,7^{\circ}\text{C}$), des températures diurnes élevées et une amplitude thermique pouvant atteindre 30°C en milieu exposé.

I.2.2.2. Végétation

La zone saharienne représentant 60% du territoire, est un domaine presque purement minéral où seuls subsistent quelques épineux, des touffes de graminées dans le lit des oueds et quelques oasis, notamment dans les vallées et les bordures de l'Air.

I.2.3 Hydrogéologie

Sur la zone d'étude exploitée par les sociétés minières SOMAÏR et COMINAK, quatre formations perméables, séparées par les formations à caractère silteux ou argileux, constituent un aquifère multicouche. Il s'agit, de la surface vers le milieu le plus profond de :

- La nappe phréatique de Teloua, présente uniquement à l'Ouest de la faille d'Arliit et non exploitée ;
- La nappe de l'Izegouande exploitée à l'Ouest de la faille d'Arliit par la SOMAÏR ;

- La nappe du Tarat exploitée à l'Est de la faille d'Arilit par la COMINAK et la SOMAÏR ;
- La nappe de Guezouman non exploitée pour l'eau potable, mais utilisée pour l'eau industrielle.

Ces aquifères sont limitées au Nord et à l'Est par les limites d'affleurement de leurs formations. A l'Ouest de la flexure faille d'Arilit, et au Sud elles se poursuivent bien au-delà du domaine de l'étude. Ce sont des nappes fossiles dont la réalimentation naturelle est négligeable au vue des prélèvements effectués et à la faible pluviométrie.

I.2.4 Population

Le Nord-Niger faisait ultérieurement partie intégrante de l'espace naturel sahélo saharien dans lequel cohabitaient selon des règles traditionnelles ancestrales plusieurs groupes autochtones nomades, sédentarisés ou non : Arabe, Chawi, Kounta, Maure, Peulh woodaabé, Touareg, Toubou, etc.

Aujourd'hui, le Nord-Niger constitue un pôle d'attraction de plusieurs ethnies aussi bien nigériennes qu'étrangères dû à l'exploitation des différentes ressources du sous-sol.

La zone d'Arilit jadis inhabitée, compte une population estimée en 2007 à 99 000 habitants dont 28 000 habitants dans les cités minières et 71 000 dans les villes induites. Les derniers chiffres de 2011 annoncent un accroissement de la population atteignant 114 000 habitants sur l'ensemble de l'agglomération.

I.3 Présentation du réseau d'alimentation en eau potable des villes d'Arilit et d'Akokan

I.3.1 Réseau d'eau potable de la ville d'Arilit

I.3.1.1 Ressource en eau et conduite d'adduction de la ville d'Arilit

Les puits d'eau potable de la ville d'Arilit sont au nombre de huit dont cinq captent la nappe du Tarat et trois captent la nappe de l'Izegouande. Ces derniers pompés à environ 50 m³/h chacun fournissent plus de la moitié de la quantité d'eau potable de la ville d'Arilit. Ce dispositif est renforcé par deux puits du Tarat cédés par la ville d'Akokan. L'ensemble des puits sont équipés de pompes immergées fonctionnant pendant 24h et refoulant dans un réseau en PEHD de diamètre allant de 100 à 300 mm. Ce réseau posé à même le sol permet de faire transiter l'eau pompée jusqu'aux réservoirs de stockage (*Annexe I*).

I.3.1.2 Châteaux d'eau et Suppresseurs de la ville d'Arli

Le stockage de l'eau est assuré par trois baches en béton armé de 500 m³ de volume. Des débitmètres sont installés à la sortie de ces baches. Deux d'entre elles alimentent la surpression 1 et une alimente la surpression 2.

Ces deux surpressions ont pour but d'assurer la desserte de l'eau à une pression normale dans l'ensemble du réseau de distribution. La Surpression 1 alimente la ville induite à travers la SEEN, la cité des ouvriers, les bureaux de la SOMAIR et d'Areva, les faisceaux et le quartier Boukoki Sud. La Surpression 2 dessert les cités des cadres, le surpresseur de la zone industrielle et l'Abattoir (*figure 2*).

A l'exception de la ville induite et de l'usine où le pompage se fait en continu, toutes les autres désertes se font sur 20h (3h- 23h).

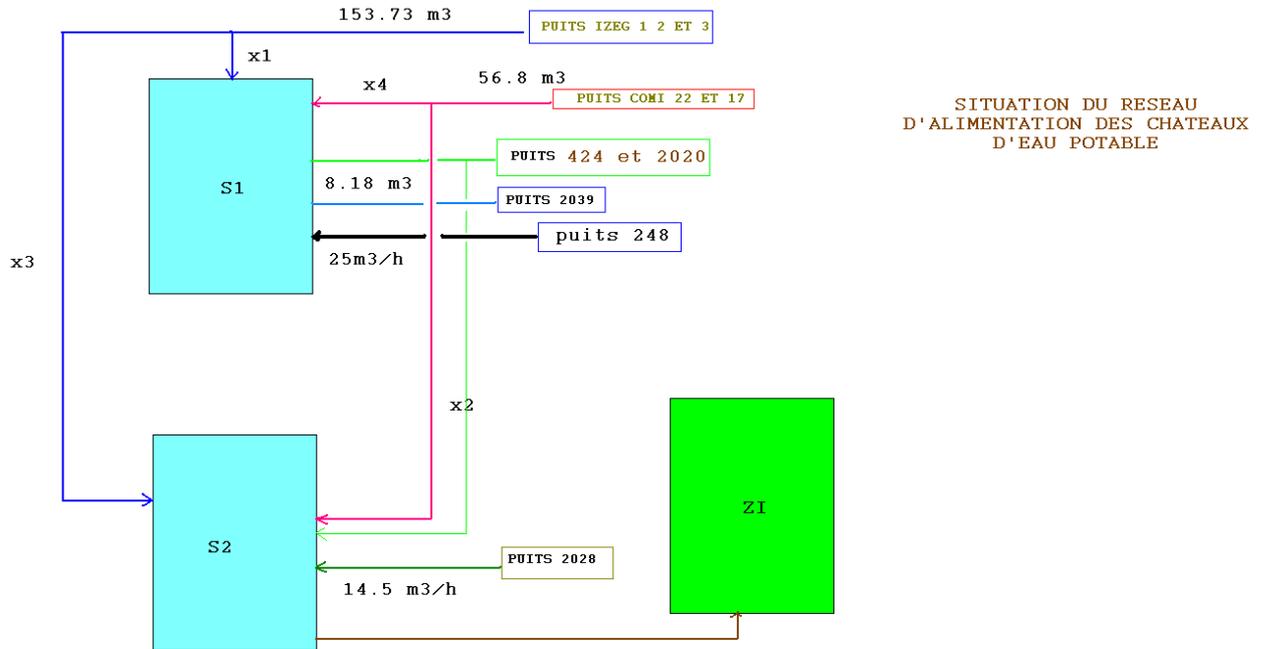


Figure 2: Réseau d'alimentation des surpresseurs 1, 2 et de la zone industrielle (Arli)

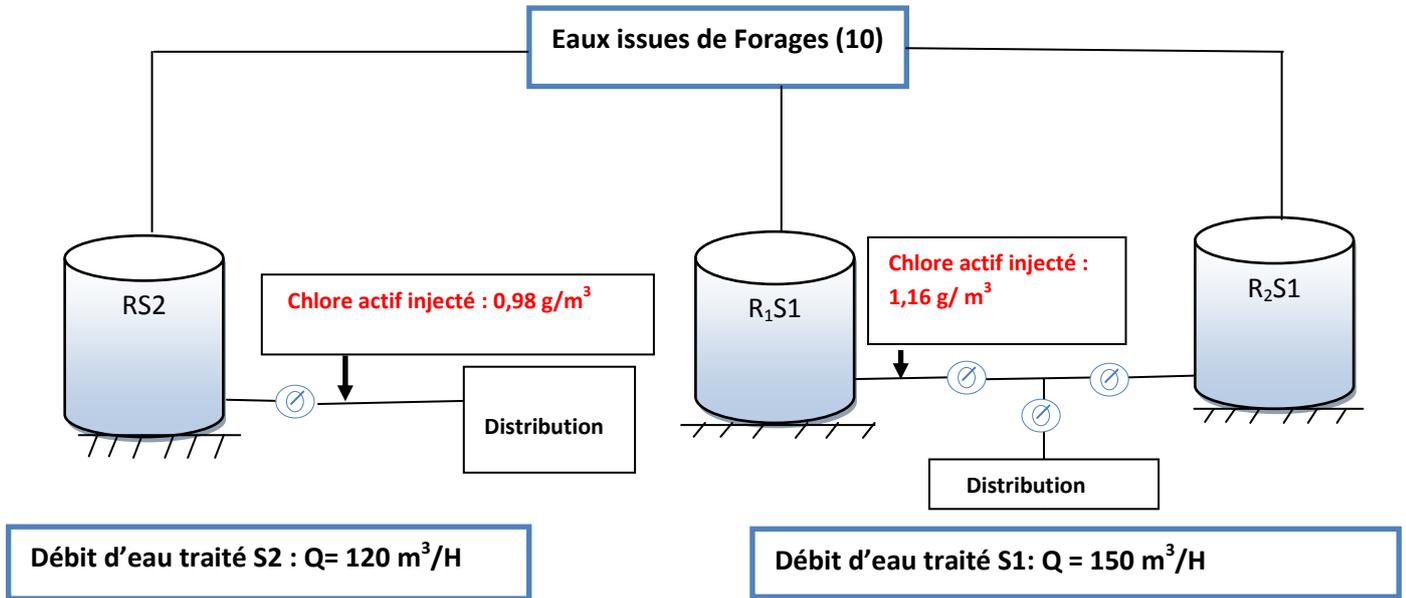
I.3.1.3 Stations de traitement de la ville d'Arli

La désinfection de l'eau se fait par une solution d'hypochlorite de calcium Ca(ClO)₂.

Formule de dissolution de l'hypochlorite de calcium dans l'eau



La ville d'Arilit dispose d'une station de traitement à chaque surpression (S1 et S2). Les deux stations sont équipées chacune de bacs de préparation de 200 L, de pompes doseuses, d'agitateurs et de cuves de réception de bac (*figure 3*).



⊗ : Débitmètre ; R : Réservoir

Figure 3: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ au niveau du surpresseur 1 et du surpresseur 2 (Réseau de la ville Arlit)

I.3.2 Réseau d'eau potable de la ville d'AKOKAN

I.3.2.1 Ressource en eau et conduite d'adduction de la ville d'Akokan

La COMINAK dispose de treize puits d'eau potable, dont deux ont été cédés à la SEEN pour renforcer le réseau d'alimentation de la ville d'Arilit. Le temps de pompage de ses puits est de 24h (*Annexe 7*).

L'alimentation en eau potable de la zone urbaine est assurée par 7 forages dont COMI_20, COMI_23, COMI_44, SMTT, COMI_39, COMI_41-2 et Tarat 01 pour un débit d'exploitation d'environ 190 m³/h.

L'alimentation de la zone industrielle est assurée par l'intermédiaire de 4 forages dont les COMI_12, COMI_15, COMI_16 et le COMI_24 pour un débit d'exploitation d'environ 112 m³/h.

L'interconnexion entre les réseaux d'adduction permet lorsque cela est nécessaire d'utiliser le COMI_12 et le COMI_16 en appoint pour la zone urbaine, soit un débit d'exploitation additionnel de l'ordre de $73\text{m}^3/\text{h}$.

Le réseau de refoulement, d'une longueur de près de 32 Km et reliant les forages aux deux groupes de réservoirs est en PEHD PN 16. Il est constitué par des conduites en PEHD de diamètres variant de 150 mm à 300 mm, qui serpentent à même le sol.

I.3.2.2 Châteaux d'eau de la ville d'Akokan

L'alimentation de la zone urbaine est assurée par deux groupes de réservoirs qui sont :

- Le groupe des réservoirs Sud, constitué de deux réservoirs au sol en béton de 600 m^3 de capacité chacun alimentés en parallèle. Des débitmètres sont installés en entrées et sorties au niveau de ces réservoirs.
- Le groupes des réservoirs Nord, constitué de deux réservoirs métalliques de 350 m^3 de capacité chacun, alimentés aussi en parallèle. Les entrées et sorties sont équipées de débitmètres.

La desserte en eau au niveau de la zone Sud et Nord est effectuée en discontinue pendant les tranches horaires de 04h-09h, de 11h-15h et de 18h-23h, soit un temps total de desserte de 14h par jour.

La zone industrielle est alimentée en continue par un réservoir en béton de 600 m^3 . Il est aussi équipé de débitmètres à l'entrée et à la sortie.

I.3.2.3 Station de traitement de la ville d'Akokan

Le traitement de l'eau se fait à l'hypochlorite de calcium $(\text{CaClO})_2$, mais en cas de rupture de ce dernier, le traitement se fait à l'eau de Javel à 12° .

La ville d'Akokan dispose de trois stations de traitement dont une à la zone industrielle et les deux autres situées au Sud et au Nord de la ville.

Les 3 stations sont équipées de bacs de préparation de solution de dimensions différentes dont un de 500 L pour la station de traitement du Sud et de la Zone industrielle, un de 120 L pour la station de traitement du Nord de la ville. Elles sont aussi munies de pompes doseuses (*figures 4, 5 et 6*).

L'injection de solution d'hypochlorite de calcium se fait à l'entrée des réservoirs d'eau avec un temps de contact minimal de plus de 30 minutes.

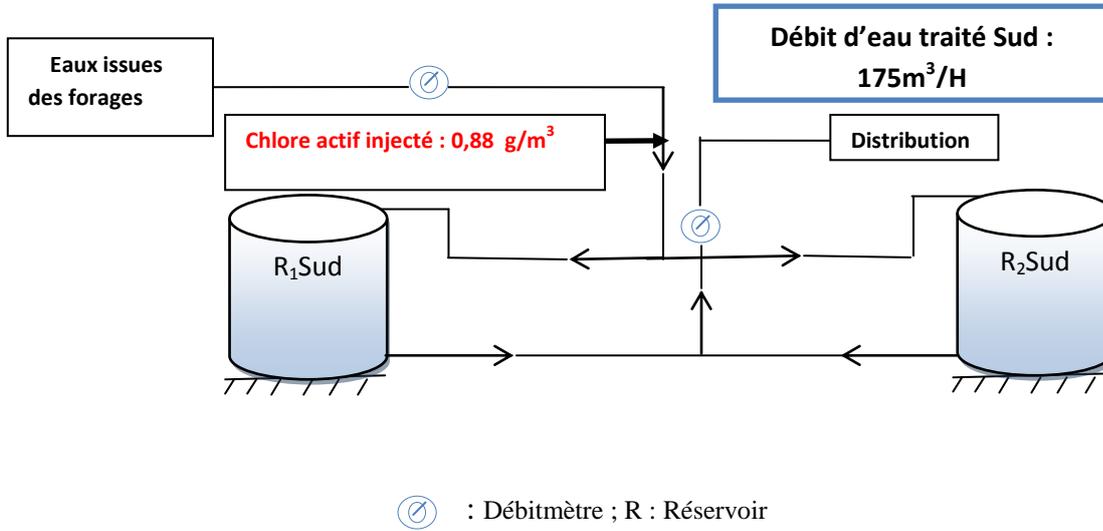


Figure 4: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans le groupe de châteaux Sud (Akokan)

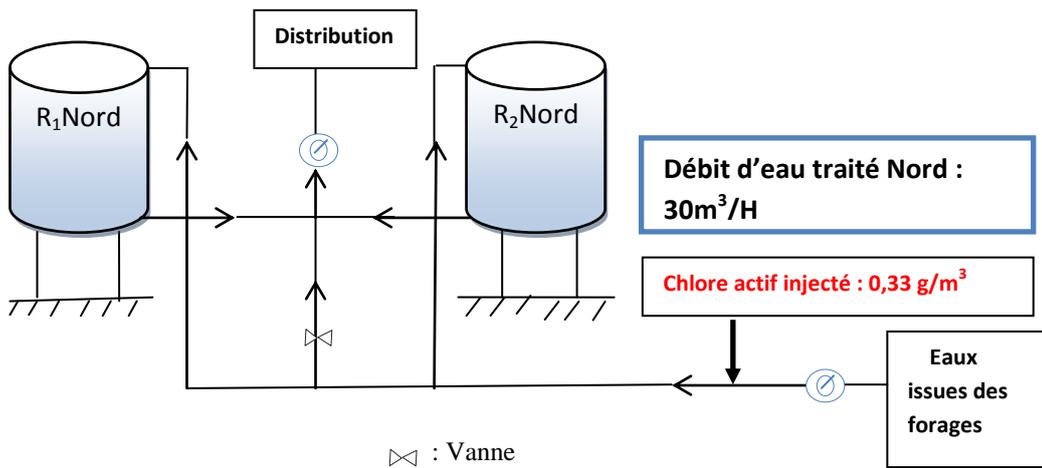


Figure 5: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans le groupe de châteaux Nord (Akokan)

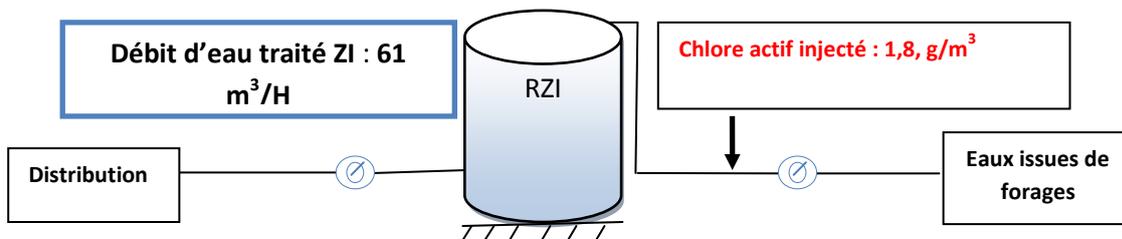


Figure 6: Injection de la solution de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ dans le réservoir de la zone industrielle (Akokan)

I.4 Synthèse bibliographique sur la désinfection de l'eau au chlore

La désinfection de l'eau destinée à la consommation humaine est l'étape finale indispensable dans toute filière de potabilisation de l'eau et dans la distribution et correspond à la destruction ou l'inactivation des micro-organismes pathogènes pour l'homme (OUEDRAOGO, 2005). La chloration est le procédé de désinfection le plus répandu pour le traitement final de l'eau destinée à la consommation humaine, compte tenu de son effet bactéricide, virulicide, rémanent, de sa disponibilité et de son moindre coût. En plus de ses avantages, le chlore et ses dérivés se montrent utiles aussi dans le contrôle des odeurs et des goûts, la prévention dans la croissance des algues, l'élimination du fer et du manganèse, la destruction de l'acide sulfhydrique, l'élimination des colorants organique. Plusieurs produits chlorés interviennent dans les procédés de désinfection de l'eau. Selon MONTEIL *et al.* (2003) il s'agit notamment du chlore gazeux (Cl_2), de l'eau de Javel (NaClO), du dioxyde de chlore (ClO_2), de l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), des chloramines (NH_2Cl , NHCl , NCl_2). L'action de ces produits chlorés dépend de multiples paramètres dont les principaux sont le pH qui contrôle l'action du désinfectant et qui entraîne une moindre efficacité du chlore à des valeurs élevées, la température qui favorise la survie et la prolifération des bactéries à partir de 15°C (SIBILLE, 1997) et dont la diminution entraîne une baisse de l'efficacité du désinfectant, le critère CT (concentration en désinfectant x temps de contact) qui permet de s'assurer de la réduction et de l'inactivation des micro-organismes pathogènes (GLS, 2006).

Selon LEVI (1995), la présence de la matière organique dans l'eau est un facteur important influençant la chloration compte tenu de son rôle de nutriment au profit des microorganismes. Selon REJSECK (2002), le fer est un facteur à considérer aussi car il est susceptible de provoquer des problèmes de corrosion dans les canalisations et les réservoirs d'eau et d'augmenter la turbidité de l'eau (protège les microorganismes du désinfectant). Compte tenu de leur réduction en ammoniac en présence de minéraux ferreux ou sous l'action bactérienne, le taux de nitrates est également non négligeable. L'ammoniac par réaction avec les ions hydroxyde (OH^-) forme de l'ammonium, qui interfère avec la chloration pour donner les chloramines dont le pouvoir désinfectant est limité. Les paramètres tels que le TAC et le TH ($\text{Ca} + \text{Mg}$) sont essentiels à mesurer compte tenu des dépôts (tartres) qu'ils peuvent engendrer au sein de la canalisation, au risque d'augmenter la turbidité de l'eau. Enfin la présence des cellules microbiennes est un facteur qui influence aussi fortement la dose de désinfectant chloré à utiliser. Ainsi le traiteur de l'eau cherchera à déterminer la quantité de chlore à

injecter de façon à oxyder les matières consommatrices de chlore et de maintenir un résiduel de chlore libre assurant une protection de l'eau tout au long de son séjour dans le réseau de distribution. La quantité de chlore nécessaire pour oxyder ces matières est appelé la demande en chlore (BERNE *et al.* 1996). Une fois cette demande est satisfaite le point critique ou Break point est atteint. C'est au-delà de ce point que le chlore résiduel libre commencera à se former. Il est donc nécessaire de maîtriser le maintien d'un résidu libre de chlore du point d'entrée du réseau au dernier point de consommation (SIBILLE, 1997). La norme OMS recommande un taux de chlore résiduel supérieur à 0,5 mg/L à la sortie des châteaux.

Le chlore résiduel libre est composé de chlore actif (acide hypochloreux-HClO) et de chlore potentiel (ions hypochlorites-ClO⁻). C'est essentiellement l'acide hypochloreux qui est le composé le plus actif dans le mécanisme de la désinfection, compte tenu de sa facilité à réagir et à transpercer les membranes cellulaires des micro-organismes. Le maintien de ce chlore résiduel dans le réseau est donc un indicateur du traitement efficace de l'eau, de même que l'absence de germes de contamination fécale après l'analyse bactériologique de l'eau à l'entrée et la sortie du réseau. Selon la norme nigérienne (2005) l'eau de boisson ne doit contenir aucun germe pathogène, elle doit être inodore, incolore et sans saveur. Les valeurs limites des eaux provenant des réseaux d'adduction sont : 0 germes pathogènes pour l'eau prélevée à l'entrée du réseau et de 0 coliformes fécaux et 3 coliformes totaux occasionnellement dans l'eau prélevée dans le réseau.

Cependant l'utilisation du chlore et de ses dérivés (à l'exception du bioxyde chlore) génère non seulement en excès des goûts désagréables à l'eau mais engendrent aussi la formation de sous-produits notamment les trihalométhanes, par réaction avec la matière organique contenu dans l'eau ou avec les ions bromures. Les études toxicologiques effectuées chez l'animal montrent que l'exposition à ces composés conduit à la survenance de tumeurs du foie, du rein, du côlon et du rectum, et peut s'avérer toxique pour le fœtus. Les données épidémiologiques disponibles chez l'homme montrent un risque de survenance de cancers de la vessie ainsi que d'une diminution du poids fœtal chez les populations exposées (GRUAU, 2004). C'est la qualité de l'eau brute qui entraîne donc ces inconvénients. Le Captage d'une eau brute souterraine de bonne qualité permet de limiter ces inconvénients (MONTEIL *et al.*, 2003) comparativement à l'eau superficielle qui est plus influencée par la pollution.

CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

II.1. Matériel et procédures utilisés au niveau de la SOMAIR pour le suivi bactériologique de l'eau potable distribuée dans la ville d'Arlet

II.1.1 Suivi du Traitement de l'eau

La norme OMS, exige un taux de chlore résiduel supérieur à 0,5 mg/L à la sortie du château. Ainsi en fonction de cette norme, la SOMAIR s'est fixé un taux de chlore résiduel de 0,5 à 1 mg/L à ne pas dépasser sur son réseau. Elle effectue les traitements par impulsion.

Une quantité de 4 Kg d'hypochlorite pur à 70% est introduite dans le bac de préparation rempli à moitié (100 L). Après agitation du mélange eau et granulés d'hypochlorite de calcium, le bac est rempli à 200 L. L'agitateur est constamment en marche afin d'assurer une homogénéisation de la solution d'hypochlorite de calcium concentrée à 20 g/L. Une pompe doseuse assure l'injection de la solution désinfectante sur le réseau. A partir de la lecture du débit d'eau effectuée par le débitmètre à impulsion, la pompe DDI 209 contrôle la fréquence de pompage pour adapter la valeur de d'hypochlorite à injecter (*figure 8*). La consigne au niveau de la pompe est la suivante : pour 1 m³ qui est passé dans la conduite, elle reçoit une impulsion du débitmètre et injecte une quantité de solution d'hypochlorite de calcium dans le réseau. La quantité de solution injectée est de 70 mL/ m³ au niveau de la surpression 2. Au niveau de la surpression 1, le débitmètre à impulsion étant mal positionné, une quantité de 100mL est injecté pour 1,2 m³ (*annexe 2*). Ces quantités injectées (100 mL et 70 mL correspondent à des doses de chlore actif de 1,16 mg/L et de 0,98 mg/L respectivement au niveau de la surpression 1 et de la surpression 2. Une fois ces quantités injectées, les pompes s'arrêtent et attendent le passage du prochain mètre cube d'eau.

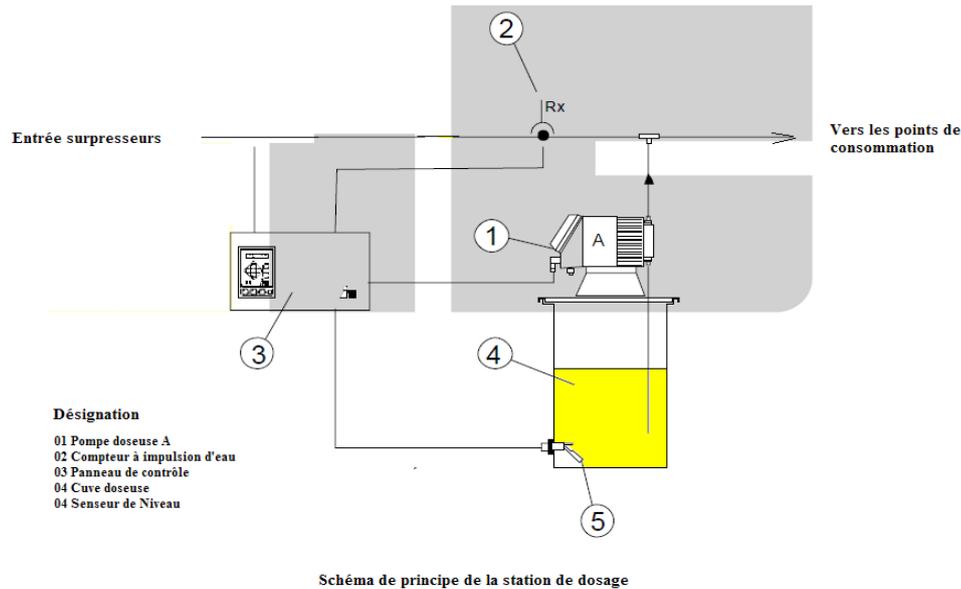


Figure 7: Principe du dosage au chlore dans le réseau de la ville d'Arlit

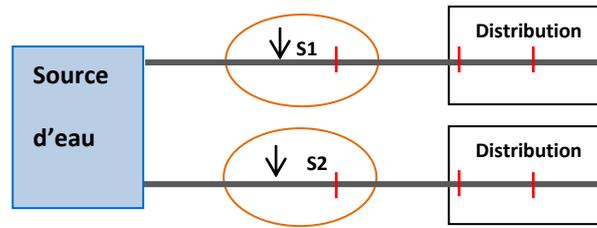
II.1.2 Prélèvements des eaux (Echantillonnage)

La fréquence de prélèvement pour les analyses bactériologiques au niveau de la ville d'Arlit est hebdomadaire (les lundis).

Chaque prélèvement est constitué de Cinq échantillons. Pour le prélèvement, les robinets d'eau ont été au préalable désinfectés à l'aide d'une barre de fer enrobée de coton et inhibée d'Alcool à 95°, puis à l'aide de flammes issues d'un Chalumeau (réchaud à gaz butane). Ensuite ils ont été ouverts et l'eau a été laissée couler pendant une minute environ. Cinq flacons de 250 mL stérilisés ont été remplis avec précaution (port de gants...), puis refermés à l'aide de la bourre de coton et numérotés. Enfin les échantillons sont placés dans une glacière puis acheminés vers le laboratoire après avoir rempli et signé le bulletin d'analyse bactériologique d'eau de boisson sur lequel figure la date de prélèvement, le nom du préleveur, le lieu précis de prélèvement, les observations éventuelles et l'heure de la livraison au laboratoire de l'hôpital COMINAK.

En cas de non-conformité des résultats, les prélèvements sont repris dans un intervalle de deux jours (les mercredis) pour de nouvelles analyses.

Un total de dix échantillons d'eau a été prélevé dans la ville d'Arlit. Ces prélèvements d'eau traitée ont été effectués au niveau des surpresseurs et des domiciles des cadres.



↓ : Injection de la solution d'hypochlorite de calcium ;

| : Prélèvements d'échantillons

Figure 8: Lieux de prélèvement des échantillons d'eau (Arilit)

II.1.3 Analyses bactériologiques des eaux au Laboratoire.

La recherche de tous les germes pathogènes est impossible en contrôle de routine. Les eaux de consommation étant souterraines, seuls les germes indicateurs d'efficacité de traitement des eaux (les coliformes totaux et les streptocoques fécaux).

Pour l'incubation des bactéries, deux types de milieu de culture sont utilisés. Il s'agit du Tergitol TTC pour **les coliformes totaux** et de l'Azid pour **les streptocoques fécaux**. Ils sont présentés en boîtes de pétri prêtes à l'emploi. Six boîtes de pétri de Tergitol TTC et six boîtes de pétri d'Azid ont servis pour incuber les deux types de bactéries des échantillons d'eau et du témoin (eau stérile).

Pour la filtration des échantillons d'eau douze (12) filtres stériles en nitrate de cellulose de 50mm de diamètre ont été utilisés et dont les pores ont 0,45µm de diamètre. Dix (10) ont servis pour la filtration des cinq échantillons d'eau prélevés et les deux autres ont été utilisées pour la filtration l'eau stérile (témoin). Ces filtres ont été ensuite introduits dans les douze (12) boîtes de pétri réhydratées d'une quantité de 3,5 mL d'eau stérile. L'ensemble a été finalement introduit dans une étuve à 37°C pour une durée de 24h d'incubation.

Après l'incubation, l'on peut observer la présence de colonies à la surface du filtre. Les colonies de streptocoques fécaux sont de couleur rose au rouge violet et les colonies de coliformes sont de couleur rouge moyen au rouge foncé.

Le nombre de colonies dénombrées sur la surface du filtre correspond au nombre de bactéries présentes dans 100 mL d'eau.

II.2 Matériels et procédures utilisés au niveau de la COMINAK pour le suivi bactériologique de l'eau potable distribuée dans la ville d'Akokan

II.2.1 Suivi du Traitement de l'eau.

- Suivi du traitement de l'eau au niveau des groupes de châteaux Sud

Pour la préparation de la solution mère une cuve de 500 L est utilisée. Une quantité de 12,5 Kg est ajoutée dans la cuve contenant de l'eau et l'ensemble est homogénéisé à l'aide d'un bâton. La solution à injecter est concentrée à 25 g/L. La pompe doseuse fonctionne en continue sur 24h et injecte une quantité de 8,78 L/h de la solution mère pour un débit de 175m³/h soit une dose de chlore actif de 0,88 mg/ L.

- Suivi du Traitement de l'eau au niveau des groupes de châteaux Nord

La préparation de la solution se fait dans une cuve de 120 L. Après avoir rempli la cuve, une quantité de produit d'environ 3 kg est ajoutée, puis l'ensemble est agité à l'aide d'un bâton afin qu'il y ait une dissolution des granulés d'hypochlorite. La concentration de la solution mère est d'environ 25 g/L. La pompe doseuse prélève une quantité de 0,76 L de cette solution mère qu'elle injecte en huit minutes dans les réservoirs d'eaux. Le temps qui sépare deux injections de la solution d'hypochlorite de calcium est de 1h30 mn. Dans une journée, la pompe effectue 18 injections, soit une quantité de 13,68 L pour un débit de 1680m³ en 24h (30 m³/h). La dose de chlore actif injecté est donc de 0,33mg/L.

- Suivi du Traitement de l'eau au niveau de la zone industrielle

En zone Industrielle, la capacité de la cuve dans laquelle la solution est préparée est de 500 litres. Une quantité de 12,5 Kg est utilisée pour la préparation de la solution. Pour la dissolution du produit dans l'eau, la cuve est munie d'un agitateur électrique qui fonctionne en continue. Le traitement de l'eau se fait continuellement à l'aide d'une pompe automatisée qui injecte une quantité de 6,5L/h de la solution mère concentrée d'environ 25g/L pour un débit de 61 m³/h, soit une dose de chlore actif injecté de 1,8 mg/ L.

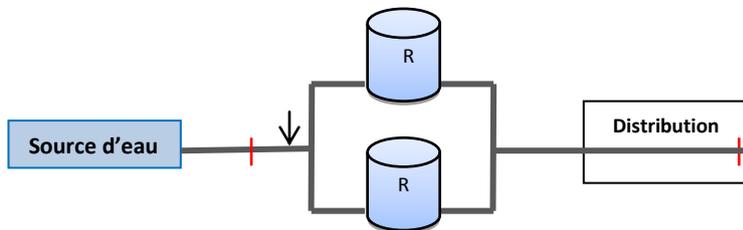
II.2.2 Prélèvements des eaux (Echantillonnage)

La fréquence des prélèvements au niveau de la ville d'Akokan est bihebdomadaire (les mardis et les jeudis), avec cinq échantillons par prélèvement.

Avant de prélever les échantillons, les différents points d'eau ont été nettoyés à l'aide d'un savon de Marseille (lavibel) et de l'eau issue du robinet. Une fois fermé, le robinet a été

énergiquement flambé avec un réchaud à gaz butane. Les mains ont été ensuite désinfectées à l'aide de l'alcool à 95° et le robinet a été ouvert de nouveau pendant quelques minutes. Cinq flacons de 250 ml, stériles et obturés ont servis pour le prélèvement de l'eau. Les cols de différents flacons ont été flambés avec prudence pour éviter toute éventuelle contamination. Une fois les flacons remplis, les cols ont été de nouveau flambés, puis refermés avec de la bourre de coton et numérotés. Enfin les échantillons ont été placés dans une glacière puis acheminés vers le laboratoire après avoir rempli et signé le bulletin d'analyse bactériologique d'eau de boisson.

Nous avons prélevé treize échantillons. Dix de ces échantillons d'eau traitée ont été prélevés au niveau du château et des points de consommation de la zone industrielle et trois échantillons ont été prélevés à l'entrée des châteaux (eau non traitée).



↓ : Injection de la solution d'hypochlorite de calcium ;

| : Prélèvements d'échantillons

Figure 9: Lieux de prélèvements des échantillons d'eau au niveau des groupes de château Sud et Nord (Akokan)

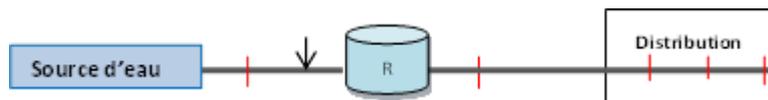


Figure 10: Lieux de prélèvements des échantillons d'eau au niveau de la Zone Industrielle (Akokan)

II.2.3 Analyses bactériologiques des eaux au laboratoire

Les analyses bactériologiques des eaux de la ville d'Akokan sont identiques à celles des eaux d'Arli. Elles sont aussi effectuées au laboratoire de l'hôpital COMINAK.

II.2.4 Contrôle de chlore résiduel

Le taux de chlore résiduel libre et résiduel total est mesuré à la fin de chaque mois pour évaluer l'efficacité du traitement à l'entrée comme dans le réseau de distribution.

La mesure s'est faite à l'aide d'un photomètre 7100 de marque WAGTECH. Le réactif utilisé est le Diéthyl para Phénylène Diamine (DPD), qui donne une coloration rose à l'eau en présence de chlore. La méthodologie consiste à préparer un échantillon témoin dans une cuve, puis à introduire dans une autre cuve quelques gouttes d'eau à analyser auxquelles on ajoute le DPD1 écrasé à l'aide d'un petit pilon en plastique. Ensuite la cuve contenant les gouttes d'eau jusqu'au trait de jauge est rempli. Pour la lecture du chlore libre résiduel, le test chlore libre a été choisi et la cuve témoin a été inséré dans l'appareil dans un premier temps. Une fois que le photomètre est prêt à lire la valeur de chlore libre résiduel de l'échantillon en mg/L, la deuxième cuve a été alors insérée dans un second temps.

Pour continuer le dosage en chlore résiduel total, l'échantillon précédent de chlore résiduel libre a été retiré du photomètre et le DPD3 a été rajouté. Après avoir écrasé le DPD3 et homogénéiser la solution, le test chlore total a été choisi, avant la réinsertion de l'échantillon.

Nous avons effectué un contrôle de chlore résiduel principalement au niveau du château de la zone industrielle et au niveau des points les plus éloignés des châteaux Sud, Nord et de la zone industrielle.

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSIONS

III.1 Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de la ville d'Arilit

III 1 .1 Qualité Physico-chimique des eaux de la ville d'Arilit

Dans les eaux issues des réservoirs des deux surpressions, seules les valeurs de pH et de fer sont supérieures à la norme, de ce fait elles sont défavorables pour la chloration. Le pH moyen des eaux de la ville d'Arilit de 2009 à 2011 est compris entre **8,61** et **8,89** (*tableau 1*). La teneur des eaux d'Arilit en ions ferreux varie de **0,5** à **1 mg/L** (*tableau 2*).

Tableau 1: Valeurs du pH des eaux de la ville d'Arilit de 2009 à 2011

Année	2009	2010	2011
Valeurs Moy	8,61	8,63	8,89
Valeurs Max	8,62	8,64	9
Valeurs Min	8,51	8,62	8,81
Directives OMS	6,5 à 8,5		

Tableau 2: Valeurs du fer dans les eaux de la ville d'Arilit de 2009 à 2011

Année	2009	2010	2011
Valeurs Moy (mg/L)	1	1	0,525
Valeurs Max (mg/L)	1	1	1
Valeurs Min (mg/L)	1	1	0,005
Directives OMS	0,3 mg/L		

III.1.2 Qualité bactériologique des eaux de la ville d'Arilit

Ci-dessous sur la *figure 11* sont exposés, les résultats bactériologiques annuels des eaux de forages sur la période de 2007 à Mai 2012. Selon la norme nigérienne, la valeur limite de Streptocoques fécaux est de 0 pour les échantillons prélevés au niveau des puits. Pour les coliformes totaux, elle stipule qu'ils doivent être inférieurs à 10 UFC dans 100 mL. Les résultats des eaux analysées ne correspondant pas à cette norme sont donc non conformes (*figure 11*). Les années 2007 et 2012 (de janvier au 13 mai) ont des résultats non conformes de 5,26 %. Par contre les années 2009, 2010, 2011 ont respectivement des taux de non-conformité de 37,5%, 30,76% et 20%.

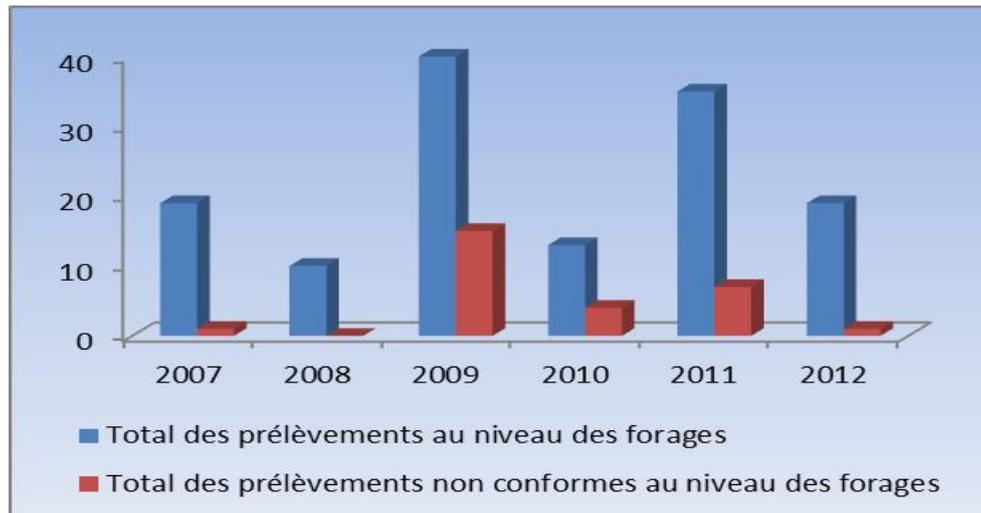


Figure 11: Prélèvements annuels des eaux de forages de la ville d'Arli de 2007 à 2012

Pour les eaux des châteaux et des points de consommation, la norme nigérienne (2005) fixe leurs valeurs limites à 0 streptocoques fécaux et à 0 coliformes totaux pour les eaux prélevées à l'entrée du réseau et occasionnellement à 3 pour les eaux prélevées dans le réseau (points de consommation). Cependant à Arlit la norme utilisée pour le prélèvement dans le réseau s'applique aussi pour le prélèvement à l'entrée du réseau.

Au niveau des châteaux, les taux de non-conformité des années 2009, 2010, 2011, 2012 (janvier-13mai) sont respectivement de 38,46%, 21,05%, 28,75% et 14,28% (*figure 12*).

Les prélèvements effectués au niveau des points de consommation sont caractérisés par des résultats non conformes de 41,66% pour les années 2008 et 2009. Pour l'année 2010, ils sont de 15,78%, de 27,08% pour l'année 2011 et enfin de 28,07% de Janvier à mai 2012 (*figure 13*).

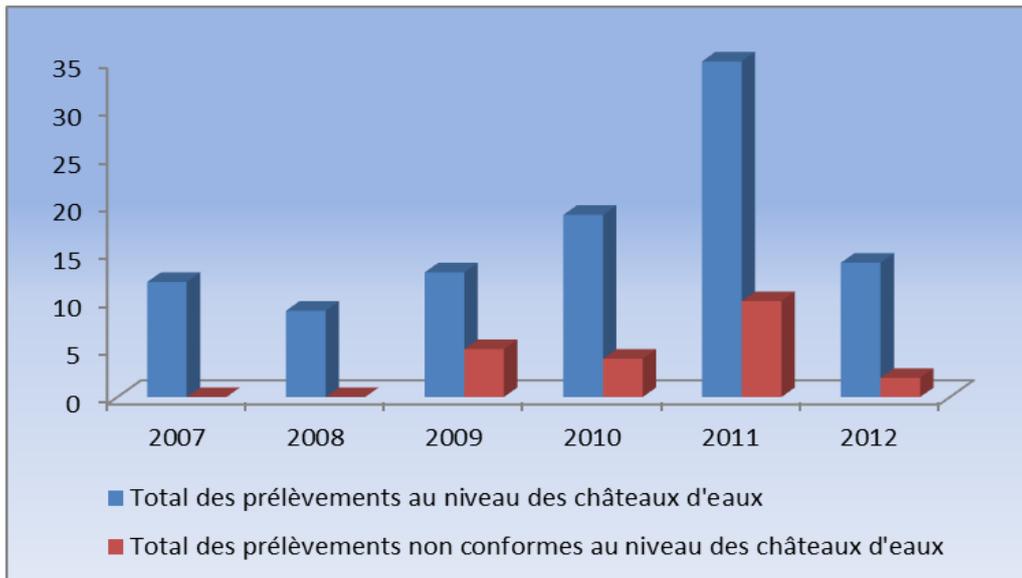


Figure 12: Prélèvements annuels des eaux de châteaux de 2007 à 2012(Arlit)

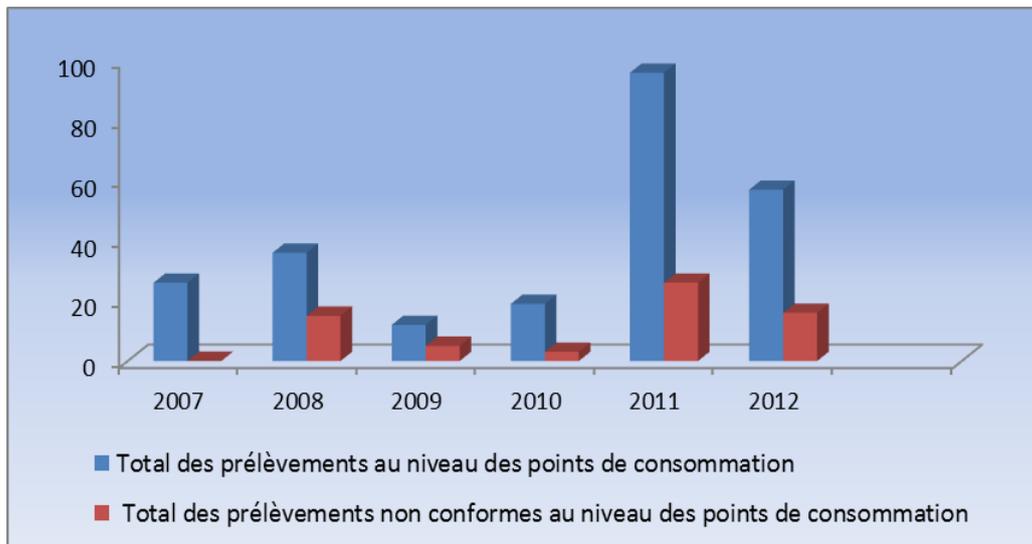


Figure 13 : Prélèvements annuels des eaux au niveau des points de consommation de 2007 à 2012 (Arlit)

Les résultats mensuels d'analyses bactériologiques au niveau des châteaux et des points de consommation de décembre 2011 à mai 2012 (période à laquelle la ville a été dotée des nouvelles installations de traitement au chlore) sont consignés dans le *tableau 3*. Sur cette période, notons que le mois de février 2012 est caractérisé par le plus grand pourcentage de résultats non conformes, qui est de 90,90% au niveau des points de consommation, suivi du mois de janvier avec 46,15%.

Tableau 3: Résultats mensuels d'analyses bactériologiques des eaux traitées après l'installation de nouveaux équipements en Décembre 2011(Arlit)

Mois et Année	Châteaux			Points de consommations		
	Nombres d'échantillons d'eau prélevés	Nombre d'échantillons d'eaux prélevés non conformes (CF>0 et CT >3)		Nombre d'échantillons d'eau prélevés	Nombre d'échantillons d'eau prélevés non conformes (CF>0 et CT >3)	
D .2011	3	1	33,33%	5	2	40%
J .2012	5	2	40%	13	6	46,15%
F. 2012	2	0	0%	11	10	90,90 %
M. 2012	5	0	0%	10	0	0%
A.2012	–	–	–	20	0	0%
M. 2012	2	0	0%	3	0	0%

- : données manquantes

III.1.3. Analyse du dysfonctionnement dans la chaîne du traitement et identification des sources de pollution de l'eau potable

Selon la norme nigérienne (2005), l'eau desservie est de bonne qualité lorsque 95% des échantillons d'eau annuels analysés sont dépourvus de coliformes totaux et 100% de ces échantillons dépourvus de streptocoques fécaux. Il ressort des analyses bactériologiques effectuées de 2007 à 2011, qu'à l'exception de l'année 2007 pour tous les trois types d'échantillons d'eau prélevés (forages, châteaux, points de consommation) et de l'année 2008 pour les forages et les châteaux, tous les résultats annuels ont des pourcentages de non-conformité supérieurs ne correspondant pas à la norme (*figures 11, 12, 13 et annexe 4*). Ainsi au vue des multiples résultats non conformes, de la vétusté du dispositif de traitement et du mauvais suivi du traitement de l'eau, la ville d'Arilit à travers la SOMAIR s'est dotée de nouvelles installations de traitement en décembre 2011.

Néanmoins, même avec l'installation de nouveaux équipements de traitement à l'hypochlorite de calcium, les résultats non conformes se perpétuent de décembre à janvier pour les échantillons prélevés au niveau des châteaux et de décembre à février pour les eaux prélevés

au niveau des points de consommation, avec un taux de non-conformité plus élevé au niveau des points de consommation (*tableau 2*).

L'ensemble de ces non conformités sont sans doute liées à l'existence de sources de pollution. Cependant, l'identification d'une source de pollution exacte pour ces divers types d'échantillons d'eau non conformes se révèle très compliquée compte tenu des multiples paramètres qui rentrent en jeu pour occasionner ces dysfonctionnements. Les sources de pollution bactériologiques des eaux identifiées peuvent être regroupées en trois catégories.

La première catégorie de sources de pollution est liée à la contamination du matériel de prélèvement ou à un mauvais prélèvement. En effet, les fioles de prélèvement après être sorties de l'étuve sont introduites dans un bac. Après les avoir introduites dans le bac à fioles, l'ensemble est acheminé du laboratoire vers les lieux de prélèvements, qui sont soit en zone urbaine ou en zone industrielle, il y a donc un risque de contamination du matériel de prélèvement. Outre le transport, la source de pollution peut provenir d'une mauvaise désinfection des mains ou du point de prélèvement. A l'exception des piquages faits au niveau de l'entrée et de la sortie des châteaux, tous les autres points de prélèvement notamment ceux au niveau des puits et des robinets en zone urbaine et zone industrielle sont utilisés par des multiples usagers qui ne s'adonnent pas pour certains aux règles d'hygiène. Cela explique sur la période de 2007 à 2012, le taux élevé de résultats non conformes dénombré au niveau des points de consommation des zones urbaine et industrielle, suivis des ceux des puits (les piquages faits à la sortie des puits sont utilisés aussi bien pour les prélèvements que pour l'alimentation du gardien de puits, des nomades et de leur bétail). En plus de la mauvaise désinfection, les prélèvements peuvent être perturbés par les phénomènes naturels tels que les vents de sable et le brouillard. Cependant en cas d'une pollution détectée au niveau d'un point de prélèvement, les analyses d'eaux sont reprises pour ce même point après avoir appliqué minutieusement toutes les règles d'hygiène lors du transport et du prélèvement. La reprise des prélèvements procure en général des résultats satisfaisants. La pollution des échantillons d'eau est donc en grande partie causée par les mauvais prélèvements.

La seconde catégorie de source de pollution est attribuée à l'insuffisance ou à l'échec du traitement et au mauvais suivi des installations de traitement à l'hypochlorite de calcium. Avant avril 2012, les dosages des opérateurs (n'étant pas suffisamment encadrés) étaient inférieurs au 4 kg recommandés par le département QSE et ils procédaient à des dilutions répétées (2 fois) de la solution mère sans rajouter la dose de produit nécessaire. Outre le mauvais dosage, l'adjonction sans dissolution des granulés d'hypochlorite de calcium dans le bac à préparation de la solution engendre l'obstruction de la conduite d'injection de la

pompe. Il y a donc échec de traitement car la pompe est en marche mais elle n'injecte que du vide. A long terme, cette action occasionne l'arrêt de la pompe. Ainsi une faible injection ou une absence de traitement peut entraîner une reviviscence des bactéries dans le réseau.

Par ailleurs notons qu'en avril 2012 la SOMAIR a accueilli un expert d'installation d'équipement de traitement des eaux qui s'est chargé d'automatiser la pompe doseuse. Après donc de multiples analyses de chlore résiduel des eaux à la sortie des châteaux et des points de consommation, il a calibré la fréquence d'injection de la pompe doseuse à 100 mL pour le surpresseur 1 et à 70 mL pour le surpresseur 2 pour une impulsion reçue correspondante. En absence de débit entrant dans le réseau, la pompe doseuse se met en arrêt automatique. Il s'est chargé aussi de l'encadrement des opérateurs sur le dosage et le suivi de l'injection. D'avril à mai, tous les 25 échantillons d'eau prélevés étaient conformes à la norme (*tableau 2 et annexe 4*).

La dernière source de pollution identifiée pourrait se rattacher aux diverses réactions physico-chimiques et bactériologiques dans le réseau d'adduction. Les résultats physico-chimiques du tableau 1 donnent des valeurs moyennes de pH comprises entre 8,61 et 8,89. A un pH supérieur à 8, ce sont les ions hypochlorites (ClO^-) qui dominent qui sont de moindre efficacité contrairement à l'acide hypochloreux (OFSP, 2010). De plus la concentration élevée du fer dans l'eau qui est de 0,5 à 1 mg/L, favorise le développement des ferrobactéries (*Gallionella*, *Crenothrix*) en absence d'un taux de chlore insuffisant. Ces bactéries proliféreront dans le réseau et entraîneront des problèmes de corrosion ou d'accumulation dans les pompes immergées et dans les canalisations et les réservoirs (REJSECK, 2002). Il est donc nécessaire de respecter la demande en chlore pour pallier aux valeurs élevées de pH et pour oxyder le fer (*annexe 13*). De plus, l'injection directe du chlore dans le réseau peut surtout entraîner une insuffisance du temps de contact entre le point d'injection et le premier point desservi (*annexe 5*). Selon MOFATT *et al.* (2011) les dysfonctionnements peuvent provenir aussi des principaux bris ou fuites au niveau des canalisations et des raccordements transversaux dans le réseau, lieux de prolifération bactérienne. Le réseau d'eau potable en partie étant en partie à ciel ouvert en pleine zone urbaine, les interventions sur le réseau (réparations, branchement), peuvent également être responsables d'incorporer les microorganismes dans le réseau. Les réservoirs de stockage de l'eau jouent aussi un rôle prépondérant dans la mise en place du réseau trophique microbien en raison du temps de séjour relativement élevé des eaux, de son contact avec l'air et des éventuels fissures ou orifice mal protégés. Il peut donc avoir une introduction de microorganismes ou de poussières apportant des contaminations et une sédimentation des dépôts. De ce fait il est un maillon

vulnérable pour le maintien de la qualité de l'eau dans le réseau de distribution. Selon AMBLARD *et al.* (1995) la densité des microorganismes est généralement plus élevée dans l'eau transitant par un réservoir que celle n'ayant pas été stockée.

III.2 Qualité physico-chimique et bactériologiques des eaux de la ville d'Akokan

III.2.1 Qualité Physico-chimique des eaux de la ville d'Akokan

Tout comme la ville d'Arilit, Le pH et le fer sont les seuls paramètres supérieurs à la norme et défavorables pour la chloration. De 2009 à 2011 (*tableau 3*) le pH moyen des eaux varie entre 8,45 à 8,65 et la concentration en fer varie de 0,5 à 1 mg/L (*tableau 4 et 5*)

Tableau 4: Valeur du pH des eaux de la ville d'Akokan de 2009 à 2011

Année	2009	2010	2011
Valeurs Moy	8,53	8,57	8,7
Valeurs Max	8,72	8,78	8,83
Valeurs Min	8,39	8,42	8,64
Directives OMS	6,5 à 8,5		

Tableau 5: Valeur de fer dans les eaux de la ville d'Akokan de 2009 à 2011

Année	2009	2010	2011
Valeurs Moy (mg/L)	1	1	1
Valeurs Max (mg/L)	1	1	1
Valeurs Min (mg/L)	1	1	1
Directives OMS	0,3 mg/L		

Le **tableau 6** donne les mesures de chlore résiduel. La Norme OMS recommande une valeur de chlore résiduel libre supérieure à 0,5mg/L dans le réseau de distribution. Sur l'ensemble de huit mesures mensuelles de chlore résiduel effectuées sur la période de mars à mai 2012 au niveau des châteaux, seuls les résultats de deux échantillons prélevés au château de la zone industrielle répondent à la directive de l'OMS ($>0,5\text{mg/L}$). Ces résultats sont de 1,06 mg/L pour le mois de mars et de 0,76 mg/L pour le mois d'avril. Au niveau des points les plus éloignés des châteaux, seule la mesure effectuée au point le plus éloigné du château de la zone industrielle donne une valeur de chlore résiduel libre de 0,18mg/L, valeur qui avoisine celle recommandée par l'OMS (2011) en bout de réseau (0,2 mg/L).

Par ailleurs les résultats de chlore résiduel libre des eaux de châteaux de décembre 2010 à février 2012 (**Tableau 15 et Annexe 9**) varient de 0 à 0,17 mg/L à l'exception du résultat obtenu au niveau du château de la zone industrielle en octobre 2011 qui est de 0,68 mg/L et de ceux obtenus au niveau du château Nord et du château de la zone industrielle en Février 2012 dont les valeurs sont respectivement de 0,59 et de 0,61 mg/L.

Tableau 6 : Résultats des mesures de chlore résiduel (Akokan)

Date de Mesure	Points de mesures	Chlore résiduel libre (mg/L)	Chlore résiduel total (mg/L)
13/03/2012	Château Sud	0,10	0,15
13/03/2012	Château Nord	0,16l	0,18
13/03/2012	Château ZI	1,06	1,08
05/04/2012	Château Sud	0	0,05
05/04/2012	Château Nord	0	0,03
05/04/2012	Château ZI	0,76	0,76
16/05/2012	Point le plus éloigné des châteaux Sud	0	0,03
16/05/2012	Point le plus éloigné des châteaux Nord	0,03	0,04
16/05/2012	Château de la ZI	0,20	0,23
16/05 /2012	Point le plus éloigné du château de la ZI	0,18	0,21

III.2.2 Qualité bactériologique des eaux de la ville d'Akokan

Pour l'évaluation de la qualité bactériologique de l'eau, la ville d'Akokan s'appuie aussi sur la norme nigérienne. Les résultats bactériologiques des eaux de forages prélevées ne correspondant pas à cette norme sont de 13,63% pour l'année 2007, de 5,55% pour l'année 2008, de 16,1% pour l'année 2009, de 12,9 % pour l'année 2010 et de 13,79% pour l'année 2011. Pour l'année 2012 aucun prélèvement d'eau de forages n'a été fait (*figure 14*).

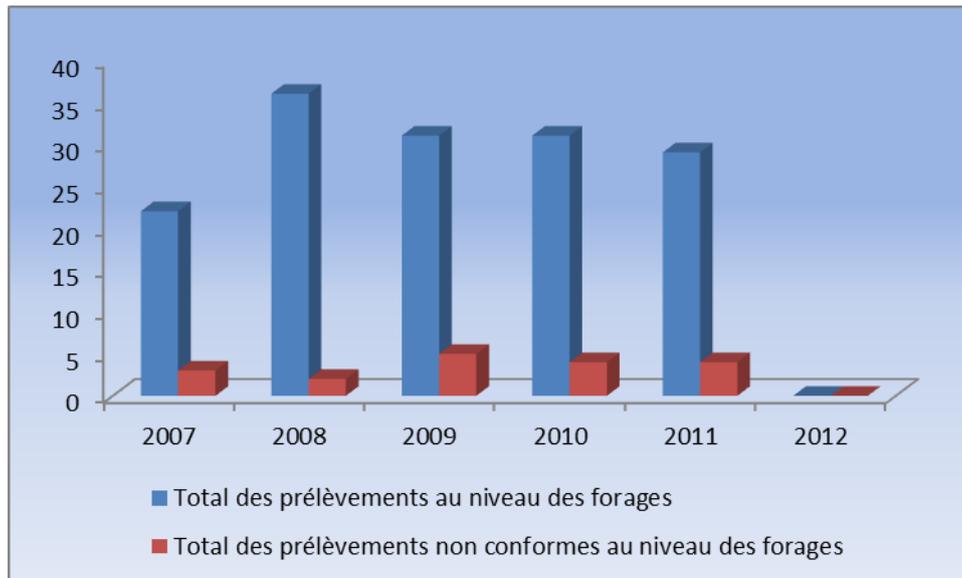


Figure 14: Prélèvements annuels des eaux de forages de 2007 à 2012 (Akokan)

A Akokan, les mêmes normes de potabilité bactériologique sont utilisées à l'entrée des châteaux qu'à leur sortie. Mais l'eau n'étant pas traitée à l'entrée des châteaux, nous avons appliqués les normes de potabilité recommandée par le Niger pour les eaux non traitées des puits et de forages (0 streptocoques fécaux et 0 à 10 coliformes totaux) pour l'analyse les résultats de 2007 à 2012. Sur l'ensemble de 73 échantillons d'eaux prélevés de 2007 à 2010 au niveau du groupe des châteaux Sud, seuls deux échantillons ne répondent pas à cette norme. Ces résultats non conformes sont de 5,55% pour l'année 2007 et de 5% pour l'année 2008. Pour les eaux entrant dans les châteaux Nord, 36 prélèvements ont été effectués de 2008 à 2010. Deux résultats ne correspondant à la norme ont été recensés en 2009 parmi ces 36 prélèvements, soit un taux de 10,52%.

Au mois d'avril 2012, trois prélèvements ont également été effectués au niveau des trois châteaux pour évaluer la qualité de l'eau à l'entrée. Les résultats de ces prélèvements donnent **0%** de non-conformité (*Tableau 7*)

Tableau 7: Résultats bactériologiques des eaux à l'amont de l'injection du chlore (Entrée des châteaux-Akokan)

Année	Echantillons prélevés à l'entrée de l'eau au château Sud			A l'entrée de l'eau aux châteaux Nord			A l'entrée de l'eau au château de la Zone industrielle		
	Total des échantillons prélevés	>à la norme exigée au niveau des puits (CT>10, SF>0)		Total des échantillons prélevés	>à la norme exigée au niveau des puits (CT>10, SF>0)		Total des échantillons prélevés	>à la norme exigée au niveau des puits (CT>10,SF>0)	
2007	18	1	5,55%	-	-	-	-	-	-
2008	20	1	5%	1	0	0%	-	-	-
2009	19	0	0%	19	2	10,52%	-	-	-
2010	16	0	0%	16	0	0%	-	-	-
Avril 2012	1	0	0%	1	0%	0%	1	0	0%

- : données manquantes

Pour les eaux traitées issues des châteaux et des points de consommation, la ville d'Akokan applique la norme nigérienne. Elle stipule que l'échantillon analysée doit contenir 0 Streptocoques fécaux et 0 à 3 coliformes totaux.

La *figure 14* et *l'annexe 10* donnent les résultats des échantillons analysés sur la période de 2007 à mai 2012. Les résultats non conformes sont de 33,80% pour l'année 2007, de 52,70% pour l'année 2008, 36,48% pour l'année 2009, 25% pour l'année 2010, 13,42% pour l'année 2011 et 9,75% de janvier à mai 2012.

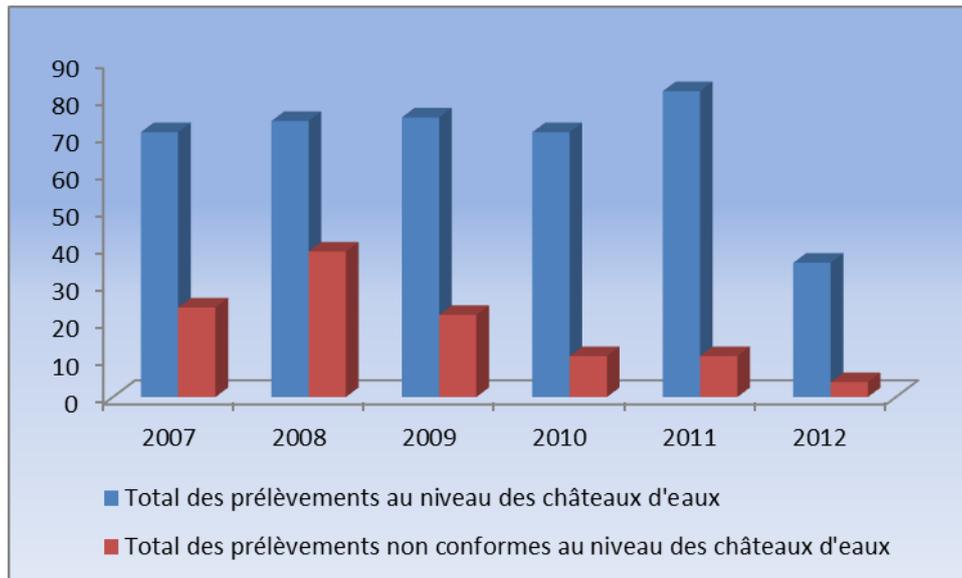


Figure 15: Prélèvements annuels des eaux de châteaux de 2007 à 2012 (Akokan)

Les résultats des eaux analysées ne correspondant pas à la norme au niveau des points de consommation sont de 38,84% pour l'année 2007, de 49,78% pour l'année 2008, de 34,29% pour l'année 2009, de 30,41% pour l'année 2010, de 12,01% pour l'année 2012, et enfin de 9,75% de janvier à mai 2012 (*figure 15 et annexe 10*).

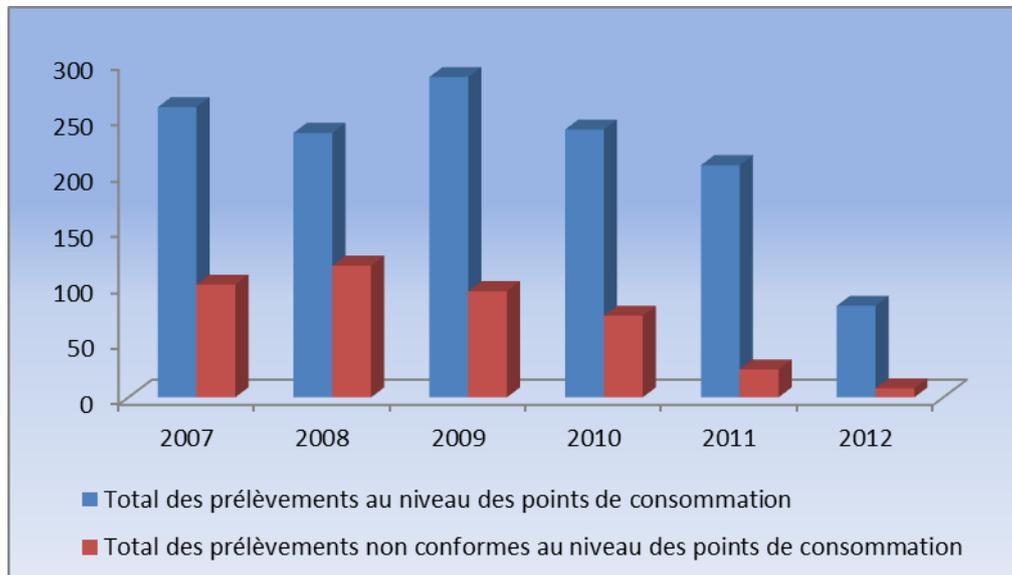


Figure 16: Prélèvements annuels des eaux de point de consommation de 2007 à 2012 (Akokan)

III.2.3. Analyse du dysfonctionnement dans la chaîne du traitement et identification des sources de pollution de l'eau potable

Au niveau des forages, le plus grand taux de non-conformité a été décelé en 2009 avec 16,1% suivi de l'année 2011 avec 13,79%, puis de l'année 2007 avec 13,63 % et enfin en 2010 il est de 12,9%. Pour les eaux non traitées entrant dans le château, le plus grand pourcentage de non-conformité est de 10,52% détecté au niveau du château Nord en 2009 (tableau 16). Notons par ailleurs qu'avant 2008, la ville d'Akokan ne disposait pas de station de traitement. Le traitement de l'eau se faisait directement dans le château par injection de 30 L d'eau de javel en moyenne une fois par mois. Pour assurer la protection de l'eau lors du stockage et de la distribution, les systèmes d'injection continue de chlore ont été mis en place en 2008 au niveau des châteaux. Néanmoins les résultats non conformes obtenus au cours de l'année 2007 (33,80%) sont inférieurs à ceux obtenus en 2008 (52,70%). Les eaux traitées et prélevées à la sortie des châteaux donnent pour l'année 2008 des résultats non conformes de 52,70%, de 36,48% en 2009, et de 13,42 % en 2011. Pour les points de consommations les résultats des échantillons des eaux analysées ne correspondant pas à la norme sont de 49,78% pour l'année 2008, de 34,29% pour l'année 2009, de 30,41% pour l'année 2010, de 12,01% pour l'année 2012 contre 38,84% pour l'année 2007. Cet accroissement du taux de non-conformité de 2007 à 2008 peut s'expliquer par la non maîtrise de nouveaux systèmes de traitement de l'eau.

Tout comme à la SOMAIR, les sources de pollution identifiées sont classées en trois catégories.

La première catégorie de source de pollution de l'eau analysée est liée au mauvais conditionnement du matériel de prélèvement, aux conditions climatiques défavorables et à la mauvaise désinfection des points de prélèvement utilisés généralement par de multiples usagers.

L'insuffisance ou l'échec du traitement est considéré comme la deuxième source de pollution. Tout comme la SOMAIR le faisait auparavant pour le traitement des eaux de la ville d'ARLIT, les opérateurs de la COMINAK introduit aussi les granulés d'hypochlorite dans le bac de préparation de la solution sans dissoudre au préalable (*figure 17*). L'agitation de l'eau et du produit se fait manuellement et de façon discontinue (*figure 18*). Cela entraîne une mauvaise dissolution des granulés d'hypochlorite qui occasionne le colmatage de la conduite d'injection de chlore et une dégradation à long terme de la pompe doseuse. De plus l'insuffisance de chlore résiduel dans l'eau (*tableau 7* et *annexe 9*) due d'une part aux

dosages approximatifs d'hypochlorites de calcium et d'autre part aux multiples dilutions de la solution mère est une source potentielle de la dégradation de la qualité de l'eau dans le réseau. Les taux de chlore résiduel sont très faibles comparés à la norme dès la sortie des châteaux. Par ailleurs Les valeurs élevées de pH et de fer combinés au sous dosage favorise la prolifération des bactéries.



Figure 17: Dosage approximatif de HTH **Figure 18: Agitation manuelle de la solution**

L'insuffisance de traitement ou l'échec de traitement est intimement lié à la dernière catégorie de pollution ayant lieu au sein des réservoirs ou des canalisations. Les réservoirs et les canalisations recevant les eaux sont des milieux de fortes interactions physico-chimiques et microbiologiques. Les ouvertures et les fuites au niveau des réservoirs, les raccordements transversaux, les cassures, les actes de vandalisme, de mêmes que les travaux sur le réseau peuvent sont des sources de contamination de l'eau potable.

III.3. Comparaison des systèmes de suivi de l'eau potable des villes d'Arli et d'Akokan

III.3.1 Prélèvements et analyses

Les prélèvements et analyses des eaux dans la ville d'AKOKAN sont bihebdomadaires, comparativement à la ville d'Arli ou les analyses se font une fois par semaine.

III.3.2 Résultats bactériologiques

Les résultats bactériologiques annuels des deux villes sont consignés dans le tableau ci-dessous. Il serait difficile de faire une comparaison au niveau de ces résultats parce que la ville d'Akokan effectue deux prélèvements par semaine comparativement à la ville d'Arli qui n'en qu'un seul.

Tableau 8: Récapitulatif des pourcentages de résultats non conformes des différents échantillons d'eau des villes d' Arlit et d' Akokan de 2007 à 2012

Année	Puits		Châteaux		Points de consommation	
	Arlit	Akokan	Arlit	Akokan	Arlit	Akokan
2007	5,26%	13,63%	0%	33,80%	0%	38,84%
2008	0%	5,55%	0%	52,70%	41,66%	49,78%
2009	37,5%	16,1%	38,46%	36,48%	41,66%	34,29%
2010	30,76%	12,9%	21,05%	25%	15,78%	30,41%
2011	20%	13,79%	28,75%	13,42	27,08%	12,01%
2012	5,26%	–	14,28%	9,75%	28,07%	9,74%

III.3.3 Traitement de l'eau

Le traitement de l'eau dans la ville d'Arilit se fait par le biais des pompes doseuses automatisés et d'agitateurs électriques qui assurent une homogénéisation constante de l'eau et du produit. Ainsi les pompes doseuses automatisées injectent une dose bien précise de solution d'hypochlorite de calcium (70 et 100 mL) en fonction de la quantité d'eau qui passe. Pour éviter l'échec ou l'insuffisance du traitement, les granulés d'hypochlorite sont au préalable dissous dans l'eau, puis le mélange est introduit dans le bac de préparation de la solution. Afin d'obtenir des résultats bactériologiques conformes, les opérateurs ont formés sur le bon dosage de l'hypochlorite de calcium.

Cependant la ville d'Akokan procède toujours par des dosages approximatifs et irréguliers du produit d'hypochlorite, à une homogénéisation manuelle de l'eau et du produit (à l'exception de la Zone industrielle), à des dilutions répétés et à l'introduction directe des granulés dans la bac de préparation de la solution au risque de boucher la conduite d'injection et de dégrader la pompe doseuse à long terme.

III.3.4 Mesure de chlore résiduel

Afin d'évaluer l'efficacité du traitement de l'eau dans les réservoirs et au niveau des points de consommation, la COMINAK fait des mesures mensuelles de chlore résiduel et total. Par

contre à la SOMAÏR, aucune mesure n'a été effectuée à l'exception du mois d'avril, la période durant laquelle la ville d'Arilit a accueilli un spécialiste de la société NALCO pour automatiser les pompes doseuses et améliorer le dosage de l'hypochlorite de calcium.

III.4 Amélioration du système de traitement

III.4.1 Amélioration du mode de traitement actuel

Au regard des résultats non-conformes enregistrés tout au long des réseaux d'ARLIT comme d'AKOKAN et aux différents dysfonctionnements relevés, le système de traitement à l'hypochlorite de calcium actuellement en application nécessite d'être amélioré.

III.4.1.1 Système du traitement de l'eau de la ville d'Arilit

Pour une meilleure efficacité du système il est nécessaire que l'injection du chlore se fasse dans le château afin d'avoir un temps de contact supérieur au temps de contact actuel (*annexe 5*). Ce temps de contact permettra au désinfectant de jouer son rôle avant que l'eau ne soit distribuée notamment pour les premiers points de consommation.

III.4.1.2 Système du traitement de l'eau de la ville d'Akokan

Le système de traitement de l'eau de la ville d'Akokan nécessite une plus grande amélioration comparé à celui de la ville d'Arilit.

Il est nécessaire que la dose d'hypochlorite de calcium soit respectée afin de permettre une bonne oxydation du taux de fer élevée et une destruction effective des bactéries. Compte tenu des dosages approximatifs et des multiples dilutions de la solution mère, les doses de chlore actuellement injectées ne se conforment pas à la norme recommandée par L'OMS. Il est donc important que l'injection de la dose d'hypochlorite de calcium soit supérieure à 0,5 mg/L (0,5 g/m³) afin d'assurer la protection de l'eau contre toute éventuelle contamination du château au dernier point desservi. N'ayant pas réévalué la demande en chlore de l'eau et les eaux d'Akokan et d'Arilit ayant quasiment les mêmes caractéristiques physico-chimiques et bactériologiques, nous nous basons donc sur l'évaluation de la demande en chlore effectuée à Arlit par l'expert de NALCO pour calculer les doses à injectées à Akokan. Ainsi donc en considérant que pour 1 m³ d'eau qui passe, il faudrait 70 mL de solution (dose correspondante à 0,98 mg/ m³). Il s'agira donc de préparer la solution concentrée à 25 g/L et d'injecter des doses de 9,8 L/h, 1,68 L/h et 3,42 L/h respectivement dans les châteaux Sud (175m³/h), les châteaux Nord (30m³/h) et le château de la zone industrielle (61m³/h).

De plus les réservoirs étant des sources potentielles de pollution, il est donc nécessaire de procéder à leur nettoyage régulier comme indiqué dans la procédure. La procédure d'entretien des ouvrages hydrauliques stipule que les châteaux doivent être nettoyés une fois par an en période froide. Cependant à Akokan, cette procédure n'est pas toujours respectée.

III.4.2 Coût de traitement actuel de l'eau

III.4.2.1 Coût du traitement actuel de l'eau de la ville d'Arilit

Le coût de l'hypochlorite de calcium utilisé a été calculé sur la base des besoins journaliers et du prix du kilogramme d'hypochlorite de calcium qui est de 3584 ,28 FCFA. *Le tableau 9* donne le récapitulatif de la quantité et du coût du produits consommé par jour et par an. Le détail de tous les calculs se trouve en *annexe 14*.

Tableau 9 : Coût annuel du traitement actuel de l'eau de la ville d' Arlit

<u>Station de traitement</u>	<u>Consommation journalière</u>		<u>Consommation annuelle</u>	
	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>
Surpression n°1	6	21 505,68	2190	7 849 573
Surpression n°2	4	14 337,12	1460	5 233 049
Total ARLIT	10	35 842 ,8	3650	<u>13 082 622</u>

Le coût annuel dépensé par la SOMAIR pour traiter l'eau de ville d'Arilit est de **13 082 622 FCFA**.

III.4.2 .2 Coût du traitement actuel de l'eau de la ville d'Akokan

Le coût de l'hypochlorite de calcium utilisé a été calculé sur la base des besoins mensuelle et du prix du kilogramme d'hypochlorite de calcium qui est de 3500 FCFA. *Le tableau 10* donne le récapitulatif de la quantité et du coût du produit consommé par mois et par an. Le détail de tous les calculs se trouve en *annexe 14*.

Tableau 10: Coût du traitement actuel de l'eau de la ville d' Akokan

<u>Station de traitement</u>	<u>Consommation Mensuelle</u>		<u>Consommation annuelle</u>	
	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>
Sud	50	175 000	650	2 275 000
Nord	12	42 000	156	546 000
ZI	12,5	43 750	162,5	568 750
Total	74,5	260 750	968,5	<u>3 864 000</u>

En respectant le dosage que nous avons proposé au point III.4.1.2, le coût annuel d'hypochlorite de calcium à utiliser est de **11 401 000 FCFA** (*annexe 16*) soit un coût supplémentaire de **7 537 000 FCFA** par comparaison au traitement actuel.

III.4.3 Système de Fabrication d'hypochlorite de sodium (NaClO) in Situ

L'utilisation de l'hypochlorite de calcium dans le cas où il n'est pas bien dissous, engendre un dysfonctionnement dans le traitement de l'eau par colmatage de la conduite d'injection de la pompe doseuse.

En outre, le système existant est fortement dépendant des opérateurs qui peuvent faire un mauvais dosage du produit ou un mauvais réglage de la pompe doseuse pour le cas de la COMINAK. Dans l'optique d'optimiser le traitement, il est donc nécessaire tout en utilisant des produits locaux, de moderniser le système actuel afin de le rendre plus autonome vis-à-vis des opérateurs et de toute exportation de désinfectant.

Le système automatisé proposé, permet de produire de l'hypochlorite de sodium par électrolyse de l'eau et du sel (NaCl), qui est un produit facilement accessible et peu coûteux.

III.4.3.1 Mode de fonctionnement de l'électrochlorateur

Le générateur du système fabrique de l'hypochlorite par "batches" (fréquences) qui sont automatiquement contrôlés par les capteurs de niveau dans le réservoir de stockage d'hypochlorite. Si le niveau tombe en dessous du niveau SL1, le processus se mettra en route.

La première opération est la fourniture d'eau adoucie sur le générateur à travers un régulateur de pression et une électrovanne d'eau. Une fois que le niveau HL2 est atteint, la pompe de

saumure se met en marche, transférant la saumure du réservoir de sel vers l'électrolyseur jusqu'à ce que le niveau HL1 soit atteint.

La salinité de la solution est ensuite contrôlée par la cellule de référence et si la salinité est suffisante, le processus de génération d'hypochlorite fonctionnera pendant 60 minutes. Durant ce temps, l'écran de l'appareil indiquera l'intensité et la tension. La concentration de l'hypochlorite dans le générateur augmente graduellement jusqu'à 5 à 6 g/L (chlore actif).

A la fin du cycle de production, la pompe d'hypochlorite démarre et la solution est transférée vers le réservoir de stockage de l'hypochlorite. Si le niveau haut (SL1) dans le réservoir n'est pas atteint, le processus va redémarrer.

Le système est simple, fiable et contrôlé par un microprocesseur qui contrôle continuellement la performance de la machine, prend les décisions appropriées et affiche l'état de fonctionnement via des diodes électro luminescentes sur l'armoire électrique et des messages sur l'écran de l'appareil (*figures 19 et 20*).



Figure 19: Electrochlorateur (appareil générateur de NaClO)

(Source : CIFEK)

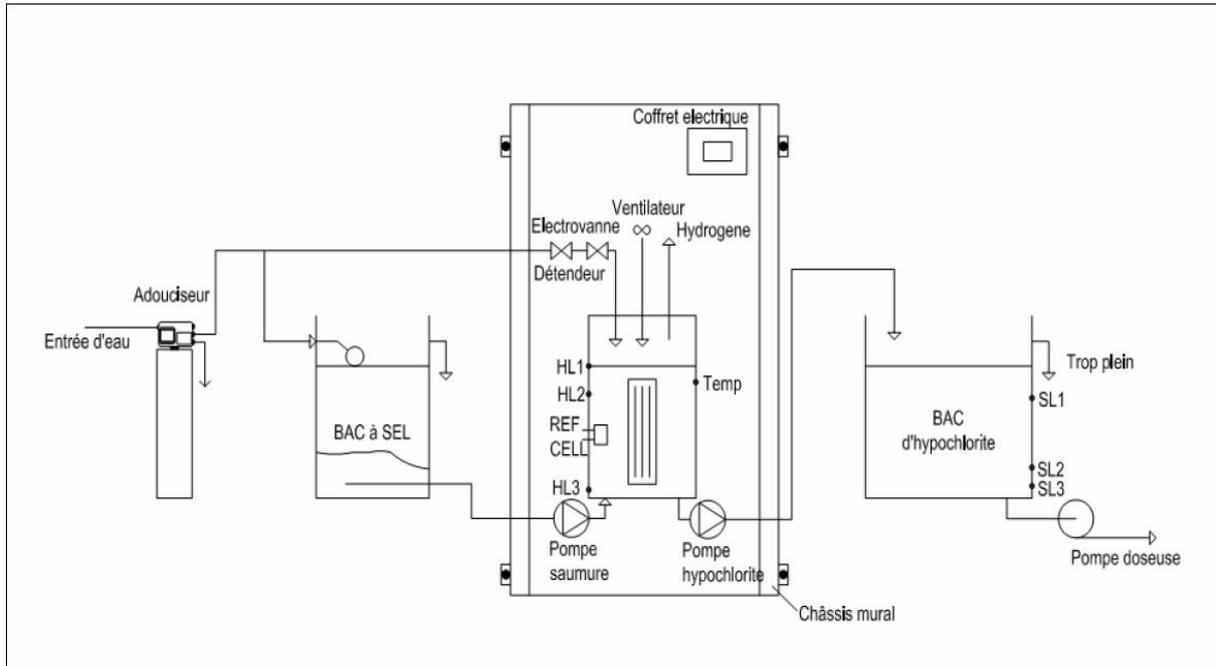
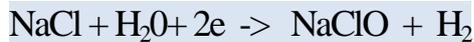


Figure 20: Plan détaillé du dispositif de production de NaClO

III.4.3.2 Equation de production de l'hypochlorite de sodium

L'électrolyse de chlorure de sodium et de l'eau donne l'hypochlorite de sodium et l'hydrogène gaz selon l'équation suivante.



NaCl : chlorure de sodium,

H₂O : eau adoucie

2e : courant continu

NaOCl : hypochlorite de sodium

H₂ : hydrogène gaz

III.4.3.3 Les Atouts de l'électrochloration

Elle permet d'assurer une autonomie importante vis-à-vis des livraisons de réactifs et des opérateurs. Le chlorure de sodium se conserve indéfiniment, sans aucune dégradation, lorsqu'il est immergé dans une saumure saturée. On peut facilement prévoir une réserve de sel dans le bac saturateur pour deux ans de fonctionnement. La maintenance est faible. L'opération réalisée en 1 heure permet de produire un hypochlorite frais et stable. Il ne présente aucun danger pour les utilisateurs.

III.4.3.4 Les inconvénients de l'électrochloration

Le coût à l'investissement est élevé. Il est de l'ordre de 16 millions à 36 millions en fonction du débit qui rentre dans le réseau. De plus le sel utilisé pour la production de l'hypochlorite de sodium doit être le plus possible pur et l'eau doit contenir le moins possible de manganèse et de fer.

III.4.3.5 Coût de traitement à l'hypochlorite de sodium

Le coût de sel à utiliser pour produire l'hypochlorite de Sodium a été calculé sur la base des besoins journaliers et du prix du kilogramme de chlore de sodium qui est de 100 FCFA. Les *tableaux 11 et 12* donnent le récapitulatif de coût du produit qui sera consommé par jour et par an respectivement par la ville d'Artil et d'Akokan. Le détail de tous les calculs se trouve en *annexe 15*.

Tableau 11: Coût du sel pour le traitement de l'eau de la ville d'Artil

<u>Station de traitement</u>	<u>Consommation journalière</u>		<u>Consommation annuelle</u>	
	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>
Supression n°1	20,52	2052	7489,8	748 980
Supression n°2	16,42	1642	5993,3	599 330
Total ARLIT	36,94	3694	13 483,1	<u>1 348 310</u>

La différence de coût entre la consommation annuelle d'hypochlorite de calcium et de sel pour la ville d'Artil est de **11 734 312 FCFA**

Tableau 12 : Coût du sel pour le traitement de l'eau de la ville d'Akokan

<u>Station de traitement</u>	<u>Consommation journalière</u>		<u>Consommation annuelle</u>	
	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>	<u>Quantité (kg)</u>	<u>Coût (FCFA)</u>
Sud	23,94	2394	8738,1	873 810
Nord	4,10	410	1496,5	149 650
Zone industrielle	8,34	834	3044,1	304 410
Total AKOKAN	36,38	3638	13 278,7	<u>1 327 870</u>

En considérant que le traitement de l'eau ait été optimisé, la différence de coût annuel entre l'hypochlorite de calcium et le sel est de **10 073 130 FCFA**.

Conclusion et Recommandations

Cette étude, effectuée dans les villes d'Arilit et d'Akokan, a permis de faire un diagnostic sur le traitement au chlore de l'eau potable. Afin de garantir la sécurité d'une bonne désinfection aux premiers points desservis, une augmentation du temps de contact est nécessaire au niveau de la ville d'Arilit par injection de la solution d'hypochlorite de calcium dans les réservoirs de stockage des eaux. Pour la ville d'Akokan, un respect des doses d'hypochlorite de calcium préconisée et un nettoyage annuel des châteaux sont nécessaires.

Par ailleurs le système actuel de traitement à l'hypochlorite de Calcium étant fortement dépendant des opérateurs et des exportations de produits, nous proposons de le moderniser et de rendre plus autonome la technologie de traitement en utilisant des produits locaux. La technologie proposée est la fabrication in situ de l'eau de Javel à travers l'hydrolyse de l'eau et du sel. A l'investissement les prix des générateurs d'eau de javel (électrochlorateurs) sont de l'ordre de seize à trente-six millions. Les débits de la ville d'Arilit étant élevés ($120 \text{ m}^3/\text{h}$ et $150 \text{ m}^3/\text{h}$), un électrochlorateur qui répond à ces besoins a un coût de **36 000 000 FCFA** environ. La différence de coût annuel entre l'hypochlorite de Calcium et le chlorure de sodium est de **11 734 312 FCFA**. Le retour sur investissement des électrochlorateurs se fera en moins de **6ans et 2 mois, suivi des économies** pour l'approvisionnement en produit. Les débits d'eau d'Akokan sont de $30 \text{ m}^3/\text{h}$, $61\text{m}^3/\text{h}$ et $175\text{m}^3/\text{h}$. Le prix des électrochlorateurs correspondant à ces débits est de **16 000 000 FCFA** pour les faibles débits et de **36 000 000 FCFA** pour le fort débit, soit un total de **68 000 000 FCFA**. La différence de coût annuel entre le produit actuel utilisé et le chlorure de sodium proposé est de **10 073 130 FCFA**. Le retour sur investissement pour la ville d'Akokan sera en **6 ans 9mois** mais suivi des économies.

Des multiples mesures telles que l'automatisation de la pompe doseuse et l'achat d'un appareil de mesure de chlore résiduel ont été entreprises par la SOMAIR pour desservir une eau potable à la population. A la COMINAK, des commandes et des installations de nouveaux matériels de traitement d'eau (installation de pompes doseuses automatisées) sont en cours.

Outre les améliorations ci-dessus, nous recommandons aux opérateurs de la SOMAIR de faire les prélèvements et les analyses bactériologiques et de chlore résiduel deux fois par semaine afin de mieux contrôler la qualité de l'eau. Aux opérateurs de la COMINAK, nous leur préconisons de se munir, à l'image de la SOMAIR d'un seau ou d'un bac afin de dissoudre

au préalable le produit. La dissolution du produit à l'amont évitera à la fois le colmatage de la conduite d'injection de la solution d'hypochlorite et assurera un service durable de la pompe doseuse. Nous leur recommandons aussi les mesures de chlore résiduel deux fois par semaine au lieu d'une fois par mois. De plus, pour une efficacité de traitement à l'hypochlorite de calcium ou à l'eau de javel, nous recommandons aux opérateurs de la SOMAIR et de la COMINAK de traiter le fer par aération de l'eau brute.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et Articles

AMBLARD C., BOURDIER G., CARRIAS J. F., MAURIN N., QUIBLIER Q., 1995 .Evolution saisonnière de la structure des communautés microbiennes dans un réservoir d'eau potable. *Wat Res*, 30 (3) : 613-624.

Arrêté 141/MSP/LCE/DGSP/DS du 27 Septembre 2004 fixant les normes de potabilité de l'eau de boisson. *Journal officiel de la République du NIGER de 2005*, 297- 299.

BERNE F., PANAI B., MERLET N., JADAS-HECART A., CAUCHI B., et LEGUBE B., 1996. Automation of long term chlorine demand measurement of treated waters. *Wat Res*, 30 : 375-384.

Chloration de l'eau potable consulté le 23/03/2012 sur le web [www.itc.es/pdf/technical-documents/ Agua-marca-fra.pdf](http://www.itc.es/pdf/technical-documents/Agua-marca-fra.pdf).

Désinfectant, consulté le 20/04/2012 sur le web <http://pravarini.free.fr/Desinfectants.htm> .

GLS, 2006. Désinfection par le chlore. *MémoTech* ,14 : 2p.

GRUAU G., 2004. Les Sous-Produits Chlorés dans les Eaux Destinées à l'Alimentation Humaine. *Rapport sur la pollution des eaux par les matières organiques*, 47p.

GULLERET, 1998. Traitement des eaux de consommation. *Cours de l'école Inter-Etats d'Ingénieurs de l'Équipement Rural Burkina Faso*, 244p.

Hernandez H R., 2006. Supervision et diagnostic des procédés de production d'eau potable. *Mémoire de thèse de l'école des Sciences Appliquées de Toulouse en France*, 163p.

JUERY C. Définition des caractéristiques techniques de fonctionnement et domaine d'emploi des appareils de désinfection consulté le 23/03/2012 sur le web [www.oieau.org/documentation/ spip.php ?12bis.pdf](http://www.oieau.org/documentation/spip.php?12bis.pdf).

KEMMER F N., 1983. Manuel de l'eau, Nalco.

LEVALLOIS P., 1997. Qualité de l'eau potable et trihalométhanes. Bulletin d'information en santé environnementale, 8(3) : 10p.

LEVI Y., 1995. Les paramètres influençant le développement des germes dans les réseaux d'eau potable TSM. *Journal de l'eau*, 3 : 240-245.

MOFATT H., STRUCK S., 2011. Les éclosions de maladies d'origine hydrique dans les petits réseaux d'alimentation en eau potable au Canada. *Rapport du centre de collaboration nationale en santé publique*, 19p.

MONTIEL A., 2004. Contrôle et préservation de la qualité microbiologique des eaux. *Journal de traitement de potabilisation et assurance qualité des eaux de consommation humaine*, 3p.

MONTIEL A., MONJOUR L., ZYDOWICZ P., PRADOS M., FIORENTINO J., VILLESSOT D., CHOTARD M., 2003. Chlore, Désinfection et Eau. *Rapport sur la communication économiques et sociales*, 20p.

Office Fédéral de la Santé Publique de la Suisse (OFSP), 2010. Procédés reconnus destinés au traitement de l'eau potable. *Rapport de L'OFSP*, 107p.

OUEDRAOGO B., 2005. Traitement d'eau de consommation. *Cours de l'Institut International de l'eau et de l'environnement*, 80p.

Projet AMAN- AREVA(2010), Etat des lieux de la qualité des nappes du Tarat et de l'Izegouande Synthèse des analyses chimiques et radiométriques disponibles à Décembre 2009.

REJSECK F., 2002. Analyse des eaux- Aspects Réglementaires et Techniques.

SIBILLE I., 1997. Stabilité biologique des réseaux de distribution d'eau potable. *Année biol.* 78 : 117-161.

Société d'Exploitation des Eaux du Niger (SEEN, 2006), Rapport d'étude des systèmes de production et de distribution des installations minières de la région d'Arli.

Véolia, 2010. Diagnostic des réseaux d'eau potable de la Cité COMINAK- Akokan.

World Health Control, 2011. Guide Line for Drinking-Water Quality.564p

ANNEXES

Listes des sous annexes

Annexe 1 : Réseau de refoulement d'eau dans les différents châteaux de la ville d'Arli.....	49
Annexe2 : Justification pour le choix des quantités de solutions d'hypochlorite à injecter au niveau de chaque station de traitement de la ville d'Arli	50
Annexe 3 : Calcul de la Dureté totale des eaux de la ville d'Arli en Titre Hydrotimétrique (TH)	51
Annexe 4 : Bilan mensuel et annuel des résultats d'analyses bactériologiques des eaux de la ville d'Arli	52
Annexe 5 : Calcul du temps de contact minimal entre l'eau et le désinfectant dans la canalisation (Arli).....	55
Annexe 6 : Exemple de fiche de prélèvement des échantillons eaux de la ville d'Arli	56
Annexe7 : Réseau de refoulement de l'eau vers les réservoirs de la ville d'Akokan.....	57
Annexe 8 : Calcul de la Dureté totale des eaux de la ville d'Akokan en Titre Hydrotimétrique (TH).....	58
Annexe 9 : Valeur de chlore résiduel dans le réseau d'eau de la ville d'Akokan.....	59
Annexe 10 : Bilan mensuel et annuel des résultats d'analyses bactériologiques des eaux de la ville d'Akokan.....	61
Annexe 11 : Calcul du temps de contact minimal entre l'eau et le désinfectant (Akokan)	64
Annexe 12 : Exemple de fiche de prélèvement des échantillons eaux et de résultats d'analyses bactériologiques de la ville d'Akokan	65
Annexe 13 : Chloration au Break point	66
Annexe14 : Calcul du coût des produits consommés au niveau des deux villes	67
Annexe 15 : Dimensionnement des électrochlorateurs à commander et Calcul de doses de sel nécessaires pour produire du NaClO au niveau de chaque station de traitement.....	70

Annexe 1 : Réseau de refoulement d'eau dans les différents châteaux de la ville d'Arlit

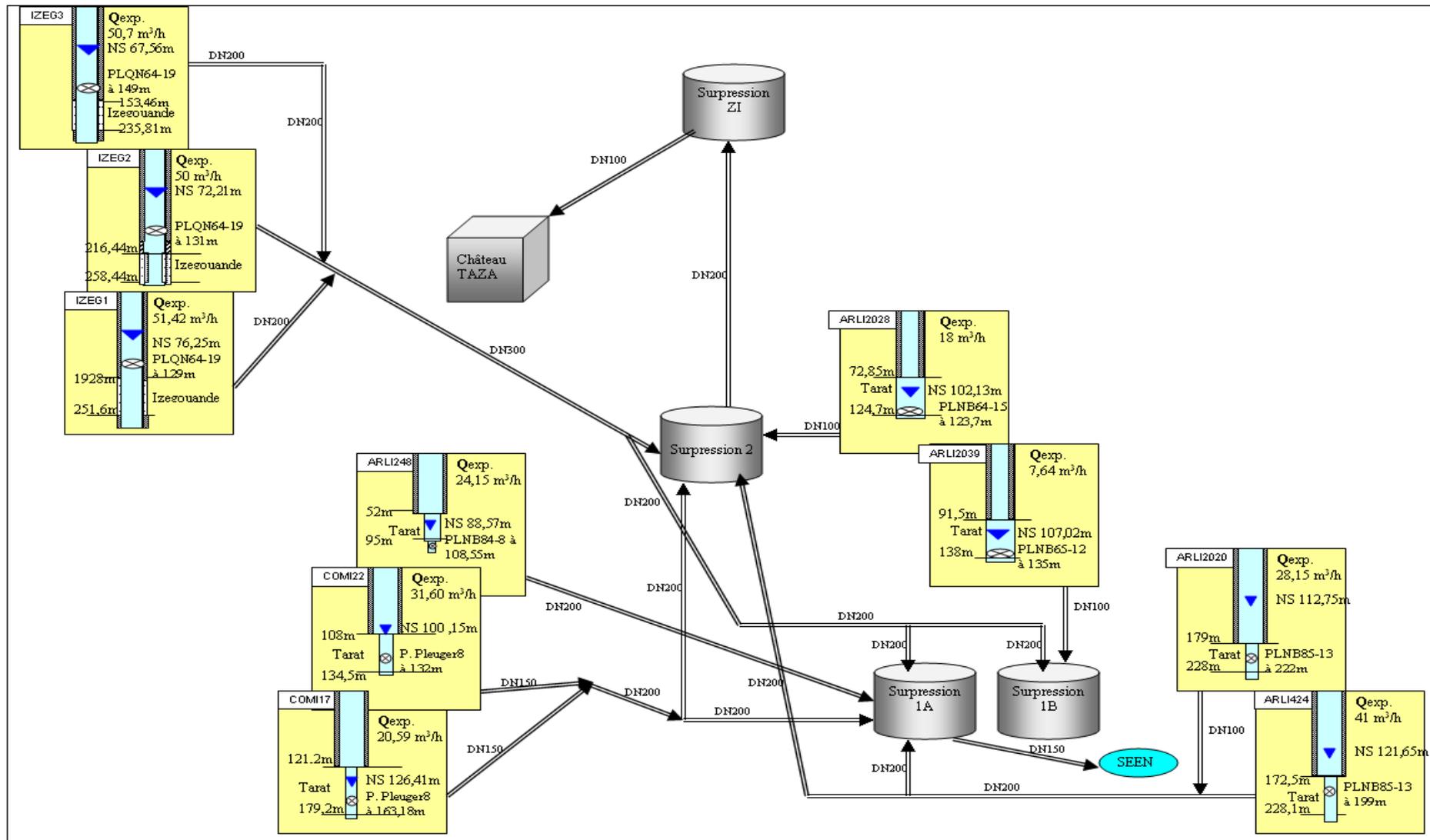


Figure 21: Plan détaillé du réseau de refoulement de l'eau brute de la ville d'Arlit (Janvier 2012)

Annexe2 : Justification pour le choix des quantités de solutions d'hypochlorite à injecter au niveau de chaque station de traitement de la ville d'Arilit

a) Surpression 2 (S2) :

La Ville d'Arilit représentée par la SOMAIR, s'est fixée comme norme d'avoir un taux de chlore résiduel compris entre 0,5 à 1 mg/ L dans son réseau. A cet effet 70 mL de solution d'hypochlorite sont injectés par la pompe doseuse pour 1m³ d'eau qui passe. Le débit entrant est d'environ 120 m³/h.

Pour le choix des 70ml à injecter les calculs sont les suivants :

Pureté de l'hypochlorite : 70 %

Norme SOMAIR : 0,5 à 1 mg/ L de chlore résiduel libre

Valeur de départ à injecter : 1 mg/ L pour être dans la norme donc la quantité d'hypochlorite pure à injecter est de 1,4 mg/ L (1,4g pour 1 m³ d'eau dans le réseau)

Préparation de la solution mère à 2% c'est-à-dire 4 Kg dans 200 L. Après conversion nous avons : 4 g dans 200 mL, donc la solution mère a une concentration de 4 g pour 200 mL. Pour avoir une quantité de 1,4 g dans l'eau à distribuée, il faut prélever :

$1,4g \cdot 200mL / 4 g = 70 mL$ (quantité de la solution mère à injecter pour avoir 1,4 g d'hypochlorite de calcium)

Donc pour 1m³ d'eau qui passe la pompe a été programmée pour injecter 70 mL.

b) Surpression (S1):

La surpression 1 a été aussi dimensionnée suivant les mêmes paramètres sauf qu'à ce niveau il y a deux réservoirs de stockage et le mauvais positionnement du débitmètre ne permet pas à la pompe de recevoir l'impulsion issue de ces réservoirs. Elle ne reçoit que l'impulsion envoyée par le débitmètre du réservoir 1. Comme le second réservoir envoie aussi 1/5 du volume du réservoir 1, la quantité de solution à injecter a été majorée à 100 mL pour une impulsion reçue (*figure 3*). Le débit entrant au niveau de la surpression 1 est de 150 m³/h.

Annexe 3 : Calcul de la Dureté totale des eaux de la ville d'Arilit en Titre Hydrotimétrique (TH)

$$\text{Dureté totale (TH)} = \text{Dureté Calcique (TCa)} + \text{Dureté Magnésienne (TMg)}$$

a) Calcul des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} en méq/L

$$[X] \text{ en Méq/l} = [X] \text{ en mg/l} / (\text{masse molaire/valence ionique})$$

$$\underline{\mathbf{S1}} : [\text{Ca}^{2+}] = 3,11/20 = \mathbf{0,155 \text{ méq/L}} \quad \text{et} \quad [\text{Mg}^{2+}] = 1,65/12,1 = \mathbf{0,136 \text{ méq/L}}$$

$$\underline{\mathbf{S2}} : [\text{Ca}^{2+}] = 11,57/20 = \mathbf{0,578 \text{ méq/L}} \quad \text{et} \quad [\text{Mg}^{2+}] = 2,33/12,1 = \mathbf{0,192 \text{ méq/L}}$$

b) Calcul des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} en °f

$$1 \text{ méq} = 5^\circ\text{F}$$

$$\underline{\mathbf{S1}} : [\text{Ca}^{2+}] = 0,155 * 5 = \mathbf{0,77^\circ\text{f}} \quad \text{et} \quad [\text{Mg}^{2+}] = 0,136 * 5 = \mathbf{0,68^\circ\text{f}}$$

$$\underline{\mathbf{S2}} : [\text{Ca}^{2+}] = 0,578 * 5 = \mathbf{2,89^\circ\text{f}} \quad \text{et} \quad [\text{Mg}^{2+}] = 0,192 * 5 = \mathbf{0,96^\circ\text{f}}$$

Donc

$\underline{\mathbf{TH_{S1} = 0,29 \text{ méq/l}}}$ ou $\underline{\mathbf{1,45^\circ\text{f}}}$ } les TH des surpresseurs 1 et 2 sont inférieurs à $\mathbf{10^\circ\text{f}}$,

$\underline{\mathbf{TH_{S2} = 0,77 \text{ méq/l}}}$ ou $\underline{\mathbf{3,85^\circ\text{f}}}$ } donc les eaux d'Arilit sont **très douces** (REJSECK,

2002). Le taux d'entartrage est limité dans les canalisations et les châteaux d'eau.

Annexe 4 : Bilan mensuel et annuel des résultats d'analyses bactériologiques des eaux de la ville d'Arli

Tableau 13: Bilan mensuel et annuel des analyses bactériologiques des eaux des forages de la ville d'Arli

Mois Année	Prélèvements mensuels des eaux de forages non Conformes à la norme (CF>0 et CT > 10) sur le total des prélèvements mensuels des eaux de forages												Total des échantillons des eaux de forages prélevés non conformes par année	Total des échantillons des eaux de forages prélevés par année
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
2007	0/4	-	-	-	-	0/7	0/2	-	-	-	-	1/6	1	19
2008	0/3	-	-	-	-	0/7	-	-	-	-	-	-	0	10
2009	0/9	-	-	-	2/2	-	-	-	-	9/17	4/6	0/6	15	40
2010	-	-	-	-	0/2	4/11	-	-	-	-	-	-	4	13
2011	-	0/3	4/10	0/3	-	-	0/5	2/7	-	-	-	1/7	7	35
2012	0/7	0/2	1/10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	19

Tableau 14: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après l'installation de nouveaux équipements en Décembre 2011 (eaux de châteaux-Arlit)

Mois Année	Prélèvements mensuels des eaux de châteaux non Conformes à la norme (CF>0 et CT > 3) sur le total des prélèvements mensuels des eaux de châteaux												Total des échantillons non conformes par année	Total des échantillons prélevés par année
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
2007	-	-	-	0/4	-	0/3	-	-	0/3	-	-	0/3	0	12
2008	-	-	-	0/3	-	0/1	-	-	-	0/3	-	0/2	0	9
2009	0/2	-	0/4	-	1/1	1/1	-	-	-	1/3	-	2/2	5	13
2010	-	0/4	-	-	0/3	0/3	4/4	-	-	0/2	0/3	-	4	19
2011	-	0/3	0/3	0/3	0/2	1/3	0/3	4/6	0/1	4/8	-	1/3	10	35
2012	2/5	0/2	0/5	-	0/2	-	-	-	-	-	-	-	2	14

Tableau 15: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après l'installation de nouveaux équipements en Décembre 2011 (eaux issues des points de consommation - Arlit)

Mois Année	Prélèvements mensuels des eaux issues de points de consommation non Conformes à la norme (CF>0 et CT > 3) sur le total des prélèvements mensuels des eaux issues de points de consommations												Total des échantillons prélevés non conformes par année	Total des échantillons prélevés par année
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
2007	0/6	–	–	0/6	–	0/5	0/1	–	0/7	–	–	0/1	0	6
2008	2/6	–	–	0/5	–	1/6	2/3	6/6	–	2/7	–	2/3	15	36
2009	0/3	–	0/1	–	–	–	–	–	–	3/5	–	2/3	5	12
2010	0/2	0/2	–	–	0/5	–	0/4	–	–	3/3	0/3	–	3	19
2011	–	0/4	2/3	0/7	0/8	3/7	0/7	9/18	0/4	5/18	5/15	2/5	26	96
2012	6/13	10/11	0/10	0/20	0/3	–	–	–	–	–	–	–	16	57

Annexe 5 : Calcul du temps de contact minimal entre l'eau et le désinfectant dans la canalisation (Arlit)

TC (s) = Distance (m) / vitesse (m/s) avec la vitesse = Débit (m³/s) / Section (m²) et la section $S = \Pi(\text{Diamètre})^2/4$ donc

$$\text{TC} = \text{Distance} \cdot \Pi(\text{Diamètre})^2 / 4 \cdot \text{Débit}$$

a) Surpression 1

DN = 200mm

Q = 150m³/h = 0,041m³/s

D = 150m

TC = 150. $\Pi(0,2)^2/4$. (0,041) = 114,93 s

TC = 1,91mn < 30minutes (Guilleret, 1998) temps de contact insuffisant pour que le désinfectant joue son rôle au niveau du premier point desservi.

b) Surpression 2

DN = 300

Q = 120 m³ /h = 0,033 m³/s

D = 200m

TC = 200. $\Pi(0,3)^2/4(0,033)$ = 428 s

TC = 7,13mn < 30 minutes (Guilleret, 1998), temps de contact insuffisant pour que le désinfectant joue son rôle au niveau du premier point desservie

NB : Les données ci-dessus utilisées pour les calculs du temps de contact ne sont que des approximations car il n'existe pas de plan complet à l'échelle donnant les distances exactes des canalisations qui sont enterrées. Nous avons donc considéré les diamètres (extérieurs) à la sortie des surpresseurs et évalué la distance entre le point d'injection et le premier point desservi.

Annexe 6 : Exemple de fiche de prélèvement des échantillons eaux de la ville d'Arli

Référence SCL/HYDRO BA 01 Page : 1/1	Indice 2	BULLETIN D'ANALYSE BACTERIOLOGIQUE EAU DE BOISSON	
--	-------------	---	---

Date de prélèvement : 16-04-2012
 Nom et visa du préleveur : Bassikoye / Bachir / Rachida

N° d'échantillons	1	2	3	4	5
Lieu de prélèvement	MAB 203 cuisine	MAB 195 buvanderie	MAB 106 cuisine	MAB 157 buvanderie	MAB 16 cuisine
Heures de prélèvement	08h26	08h42	09h02	09h17	09h30
Observations					

Heure de réception au laboratoire : 9h45
 Numéros des Analyses : 248/257

N° d'échantillons	Eau Stérile	1	2	3	4	5	Normes
Coliformes totaux	00	00	00	00	00	00	< ou = 3% ml
Streptocoques Fécaux	00	00	00	00	00	00	0 par 100 ml

(*) : 95% des échantillons prélevés annuellement ne doivent pas contenir de coliformes totaux.

Signature laborantin : 17/4/12
 Signature chef labo : 17/4/12
 Observations : B7



Annexe 7 : Réseau de refoulement de l'eau vers les réservoirs de la ville d'Akokan

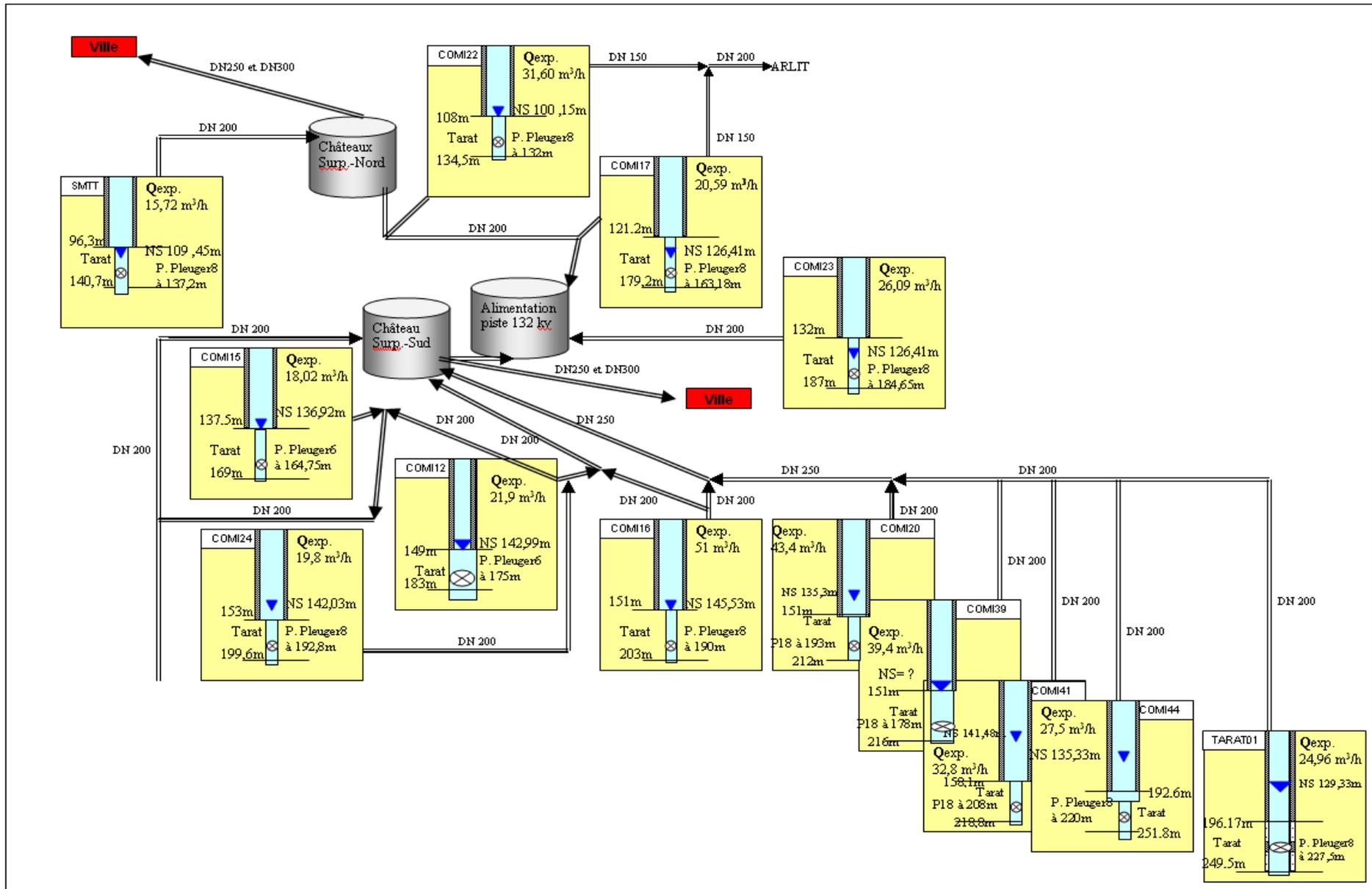


Figure 22: Plan détaillé du réseau de refoulement de l'eau brute de la ville d'Akokan (Janvier 2012)

Annexe 8 : Calcul de la Dureté totale des eaux de la ville d'Akokan en Titre Hydrotimétrique (TH)

Dureté totale (TH) = Dureté Calcique (TCa) + Dureté Magnésienne (TMg)
--

a) Calcul des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} en méq/L

$[X]$ en Méq/l = $[X]$ en mg/l / (masse molaire/valence ionique)

Châteaux Sud : $[Ca^{2+}] = 4,94/20 = 0,247$ méq/L $[Mg^{2+}] = 2,87 / 12,1 = 0,237$ méq/L

Châteaux Nord: $[Ca^{2+}] = 3,77/20 = 0,188$ méq/L $[Mg^{2+}] = 1,83 / 12,1 = 0,151$ méq/L

Château ZI : $[Ca^{2+}] = 2,5/20 = 0,125$ méq/L $[Mg^{2+}] = 1,95 / 12,1 = 0,161$ méq/L

b) Calcul des concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} en °f

1méq = 5°F

Châteaux Sud: $[Ca^{2+}] = 0,247*5 = 1,23$ °f $[Mg^{2+}] = 0,237* 5 = 1,18$ °f

Châteaux Nord: $[Ca^{2+}] = 0,188*5 = 0,94$ °f $[Mg^{2+}] = 0,151*5 = 0,75$ °f

Château ZI : $[Ca^{2+}] = 0,125*5 = 0,62$ °f $[Mg^{2+}] = 0,161*5 = 0,80$ °f

Donc **TH_{Sud} = 0,48 méq/L ou 2,41 °f**

TH_{Nord} = 0,33 méq/L ou 1,69°f

TH_{ZI} = 0,28 méq/L ou 1,42 °f

} L'ensemble des résultats sont inférieurs à 10°f, donc les eaux d'Akokan sont des eaux très douces (REJSECK, 2002).

Le degré d'entartrage est donc limité dans les canalisations et les châteaux d'eau.

Annexe 9 : Valeur de chlore résiduel dans le réseau d'eau de la ville d'Akokan

Tableau 16: Résultats des mesures de chlore résiduel à la sortie des châteaux d'eau et au niveau des points de consommation de Décembre à Février 2011 (Akokan)

Date de Mesure	Points de mesures	Chlore résiduel libre (mg/L)	Chlore résiduel total (mg/L)
Décembre 2010	Château Sud	0	0,06
	Point éloigné Sud	0	0,05
	Château Nord	0,03	0,10
	Point éloigné Nord	0,07	–
Avril 2011	Château Sud	0,16	0,18
	Point éloigné Sud	0,09	0,11
	Château Nord	0,17	0,20
	Point éloigné Nord	0,18	0,18
Aout 2011	Château Sud	0,02	0,04
	Château Nord	0,05	0,09
	Château ZI	0,15	0,17
Septembre 2011	Château Sud	0,09	0,11
	Château Nord	0,21	0,23
	Château ZI	0,27	0,31
Octobre 2011	Château Sud	0,22	0,24
	Château Nord	0,06	0,09
	Château ZI	0,68	0,73
	Château Sud		

Janvier 2012		0,24	0,26
	Château Nord	0,22	0,23
	Château ZI	0,36	0,39
Février 2012	Château Sud	0,32	0,36
	Château Nord	0,59	0,61
	Château ZI	0,61	0,63

Annexe 10 : Bilan mensuel et annuel des résultats d'analyses bactériologiques des eaux de la ville d'Akokan

Tableau 17: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques au niveau des forages de la ville d'Akokan

Année	Mois	Prélèvements mensuels des eaux de forages non conformes à la norme (CF>0 et CT > 10) / le total des prélèvements mensuels des eaux de puits												Total des échantillons non conformes par an	Total des échantillons prélevés par année
		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
2007		-	-	-	-	-	1/10	-	-	-	-	-	2/12	3	22
2008		-	-		0/11		0/11				0/2		2/12	2	36
2009		1/1	-	-	0	-	1/12	-	-	-	-	-	4/14	5	31
2010		1/1	1/1	-	0	-	0	-	-	-	1/2	-	¼	4	31
2011		-	-	-	-	-	4/17	-	-	-	-	-	0/12	4	29
2012		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Pas d'analyses

Tableau 18: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après l'installation de la station de traitement (eaux de châteaux-Akokan)

Mois Année	Prélèvements mensuels des eaux de châteaux non conformes à la norme (CF>0 et CT > 3) / le total de prélèvements mensuels des eaux de châteaux												Total des échantillons non conformes	Total des échantillons prélevés par année
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D		
2007	1/7	0/9	2/9	2/9	0/6	0/2	0/5	0/3	6/6	6/6	5/6	2/3	24	71
2008	7/9	3/6	3/6	3/5	3/7	3/3	2/6	2/7	5/8	5/8	3/7	0/3	39	75
2009	2/9	1/7	1/8	3/6	0/3	0/3	3/6	1/6	1/4	5/8	5/6	5/9	27	74
2010	1/7	1/6	2/4	2/4	2/6	0/3	2/6	3/11	1/7	2/12	2/9	2/5	20	80
2011	0/7	1/7	1/7	2/10	1/8	0/4	3/8	1/8	0/5	2/8	0/6	0/4	11	82
2012	2/10	0/9	2/8	0/6	0/3	-	-	-	-	-	-	-	4	36

Tableau 19: Résultats mensuels et annuels des analyses bactériologiques avant et après de la station de traitement(eaux issues des points de consommation-Akokan)

Mois Année	Résultats bactériologiques mensuels des eaux issues des points de consommation non Conformes à la Norme (CF>0 et CT > 3) sur le total des prélèvements des eaux de point de consommation													Total des échantillons prélevés par année
	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	
2007	1/22	3/21	2/31	1/22	4/16	0/10	10/25	17/25	18/24	18/25	13/24	14/15	101	260
2008	12/20	16/24	7/15	12/27	14/25	3/5	5/23	13/19	11/25	18/24	7/25	0/5	118	237
2009	6/22	9/30	1/19	9/25	1/25	4/13	13/35	9/25	5/24	15/23	16/30	7/16	95	277
2010	9/25	17/24	6/19	0/16	12/29	0/10	6/30	6/20	3/13	4/22	4/22	6/10	73	240
2011	0/18	2/18	1/11	4/15	4/22	0/9	8/22	2/22	0/15	3/22	0/20	1/14	25	208
2012	6/24	0/25	2/12	0/14	0/7	-	-	-	-	-	-	-	8	82

Annexe 11 : Calcul du temps de contact minimal entre l'eau et le désinfectant (Akokan)

Temps de contact (TC)= Capacité utile du réservoir / Débit entrant dans le réseau
--

a) Groupes de réservoirs Sud

L'ensemble des deux réservoirs Sud de 1200m^3 chacun donne un débit **$Q_t = 175 \text{ m}^3/\text{h}$** donc $TC = 1200/175$ soit **$6,85 \text{ h} > 2\text{h}$** donc le temps de contact suffisant pour assurer une bonne désinfection de l'eau avant la desserte.

b) Groupes de réservoirs Nord

L'ensemble des deux réservoirs Nord de 700 m^3 chacun donne un débit **$Q_t = 30 \text{ m}^3/\text{h}$** donc $TC = 700/30$ soit **$23,33 \text{ h} > 2\text{h}$** donc le temps de contact est suffisant pour assurer une bonne désinfection de l'eau avant la desserte.

c) Réservoir ZI

Le réservoir de la zone industrielle à un volume de 500 m^3 et le débit de l'eau entrant dans le réseau est **$Q = 61 \text{ m}^3/\text{h}$**

$TC = 500/61$ soit **$8,19 \text{ h} > 2\text{h}$** donc le temps de contact est suffisant pour assurer une bonne désinfection de l'eau avant la desserte.

Annexe 12 : Exemple de fiche de prélèvement des échantillons eaux et de résultats d'analyses bactériologiques de la ville d'Akokan

BULLETIN D'ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE

N° de dossier : *198/2007* Eau de boisson Page n° 1
 Nom et adresse du client : *SAAD ALI SAÏDI RACHIDI*
 Date de prélèvement : *03/04/2012*

N° Echantillon	Prélèvement			Observation
	Lieu	Date	Heure	
1	<i>ARLIT 2i</i>	<i>03/04/2012</i>	<i>9h45</i>	<i>RAS</i>
2	<i>Rob Agouyats</i>	<i>03/04/2012</i>	<i>10h01</i>	<i>RAS</i>
3	<i>Rob Boukari</i>	<i>03/04/2012</i>	<i>10h20</i>	<i>RAS</i>
4	<i>Rob Sollich</i>	<i>03/04/2012</i>	<i>10h30</i>	<i>RAS</i>
5	<i>Rob ST</i>	<i>03/04/2012</i>	<i>10h45</i>	<i>RAS</i>
6	<i>EAU STERILE</i>			

Nom du laboratoire : *LABORATOIRE D'ANALYSE BACTÉRIOLOGIQUE*
 Heure réception des échantillons : *11h00*
 Numéros d'analyses : *198/2007*

N° Echantillon	1	2	3	4	5	6	Lignes Normes OMS
Coliformes totaux (**)	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>< ou = 3</i> Par 100 ml
Streptocoques fécaux	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>00</i>	<i>0</i> Par 100 ml

Observations du laboratoire : *-* Visa du Chef labo : *04/04/12*
B-1

(**) 95% des échantillons prélevés annuellement doivent pas contenir de coliformes totaux.

ACTIONS CORRECTIVES			
Actions	Responsables	Déla) soula)ré	Observations
<i>R.A.S</i>			

Destinataires : QSE Visa du Responsable Eau
 Copie : DE - DPR - LO - SQE - SERVICES CONCERNES

Annexe 13 : Chloration au Break point

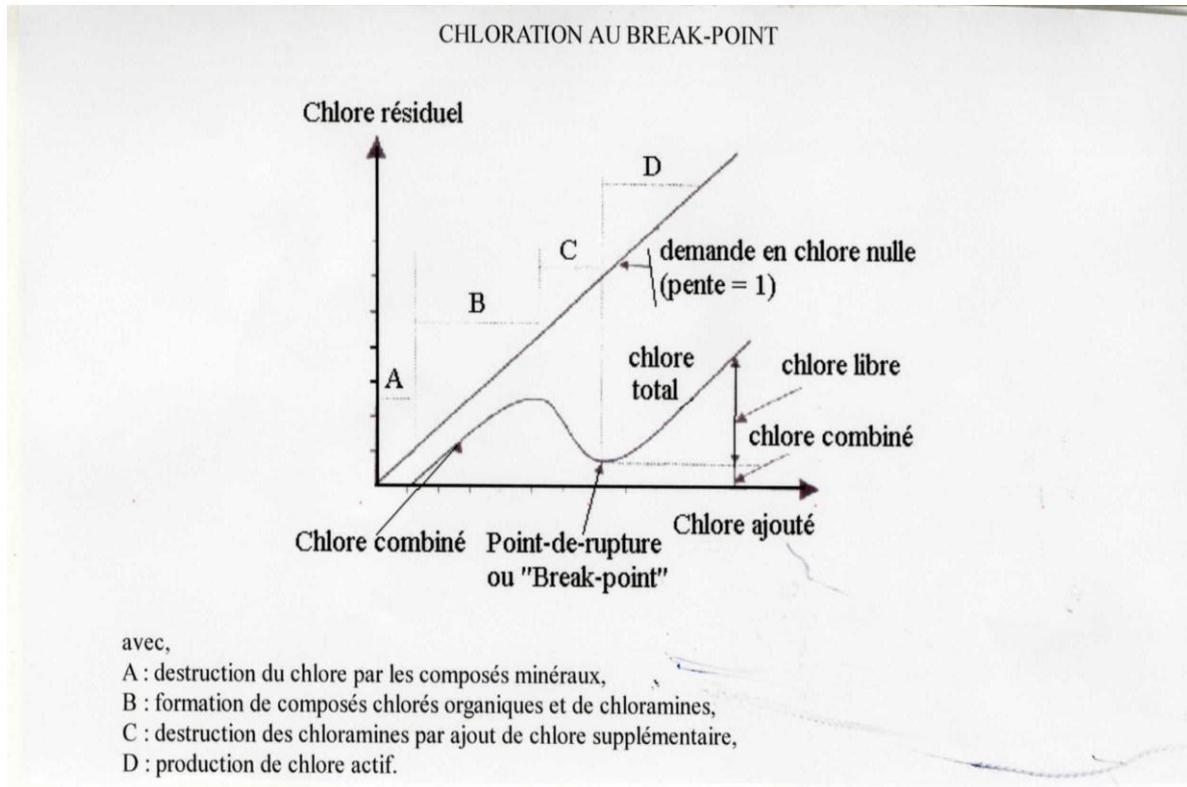


Figure 23: Courbe de la demande en chlore ([www://pravarini. free.fr /désinfectants.htm](http://www.pravarini.free.fr/désinfectants.htm))

Annexe14 : Calcul du coût des produits consommés au niveau des deux villes

1. Prix annuel dépensé par la SOMAIR pour l'achat du produit

Coût du Kg de produit : 3584, 28 FCFA (avec une taxe de 19% y compris)

Quantité et coût annuel de produit au niveau de chaque station de traitement

a) Station de traitement du Surpresseur1

- Le débit moyen de l'eau entrant dans le réseau est de $150\text{m}^3/\text{h}$ et pour $1,2\text{m}^3$ d'eau 100mL de désinfectant concentré à 20g/L (4Kg dans 200L) sont injectés. En 24h, le débit est de 3600m^3 . Sachant que pour $1,2\text{m}^3$ d'eau qui passe 100mL de produit sont injectés donc il faut 300L de solution d'hypochlorite de calcium par jour, soit 6 Kg.
- Un Kg correspond à 3584,28 FCFA, le prix journalier de produit à utiliser est de 21505, 68 FCFA. En ramenant ce prix à l'année, nous avons un coût de **7 849 573,2 FCFA**
- Le débit de l'eau moyen entrant dans le Réseau est de $120\text{m}^3/\text{h}$ et pour 1m^3 d'eau qui passe 70mL de solution d'hypochlorite de calcium préparée à 20g/L sont aussi injectés. En 24h, le débit d'eau est donc de 2880m^3 . La quantité de solution correspondante à ce débit est de 201,6 L, soit 4kg par jour.
- Le prix d'un kg d'hypochlorite étant de 3584,28 FCFA, par jour la quantité de produit utilisé correspond alors à 14337,12 FCFA, soit **5 233 049 FCFA** par an.

Le coût annuel de produit consommé au niveau de l'ensemble des surpresseurs de la ville d'Artil est de 13 082 622, 2 FCFA.

2. Prix annuel dépensé par la COMINAK pour l'achat du désinfectant

Coût du Kg de produit : 3500 FCFA (Toute taxe y compris)

a) Station de traitement du groupe de châteaux Sud

La solution désinfectante est préparée une fois par semaine à 25 g/L et complétée par des dilutions. Donc la COMINAK utilise par semaine 12,5 kg dans 500L qui sont dilués en fonction de la baisse du produit dans le bac, soit

50 Kg dans le mois et 600 Kg dans l'année. Le coût total de produit utilisé par an est **2 750 000 FCFA**.

b) Station de traitement du groupe de châteaux Nord

La solution au niveau des groupes de réservoirs Nord est aussi préparée à 25 g/L et complétée par des dilutions dans la semaine. Pour la préparation de la solution, 3 kg d'hypochlorite de calcium sont introduits dans un bac de 120 L. Alors 12kg sont utilisés par mois, soit 144 Kg par an. Le coût correspondant au 144kg est de **546 000 FCFA**.

c) Station de traitement de la zone industrielle

La solution d'hypochlorite de calcium au niveau de la zone industrielle est également préparée à 25g/L, soit 12,5 Kg dans 500 L. Cette solution est préparée une fois dans le mois et le bac est complété par dilutions jusqu'à la fin du mois. Au niveau de la zone industrielle, 150 Kg d'hypochlorite de calcium sont annuellement utilisés, soit un coût de **568 000 FCFA** par an.

Le coût annuel total des produits consommés pour le traitement de l'eau de la ville d'Akokan est de 3 864 000 FCFA

3) Coût annuel de produit à utiliser pour optimiser le traitement

Coût du Kg de produit : 3500 FCFA (Toute taxe comprise)

a) Station de traitement du groupe de châteaux Sud

La solution désinfectante se prépare à 25g/L soit une introduction de 12,5 Kg d'hypochlorite de calcium dans le bac de 500 L, soit un coût de 43750 FCFA. En injectant 9,8 L/h pour un débit de 175m³/h, la quantité de solution à injecter par jour est de 235,2 L. La préparation de la solution se renouvellera 2,13 jours. Donc annuellement un montant de **7 497 000 FCFA** sera dépensé pour l'achat de **2142 Kg** d'hypochlorite de calcium.

b) Station de traitement du groupe de châteaux Nord

La solution désinfectante se prépare aussi à 25g/ L, soit 3 Kg d'hypochlorite de calcium dans le bac de 120 L, soit un coût de 10500 FCFA. En injectant 1,68 L/h pour un débit de 30 m³/h, la quantité de solution à injecter par jour est de 40,32 L. La préparation de la solution sera

renouveler après 2, 98 jours, donc annuellement un montant de **1 286 040 FCFA** sera dépensé pour l'achat de **367,44 Kg** d'hypochlorite de calcium.

c) Station de traitement de la zone industrielle

La solution désinfectante se prépare à 25 g/L, soit une introduction de 12,5 Kg d'hypochlorite de calcium dans le bac de 500L, soit un coût de 43750 FCFA. En injectant 3,42 L/h pour un débit de 61 m³/h, la quantité de solution à injecter par jour est de 82,08 L. La préparation de la solution se renouvellera après 6,1 jours, donc annuellement un montant de **2 618 000 FCFA** sera dépensé pour l'achat de 748 Kg d'hypochlorite de calcium.

Le coût annuel total du produit pour l'optimisation du traitement de l'eau de la ville d'Akokan est de 11 401 040 FCFA.

Annexe 15 : Dimensionnement des électrochlorateurs à commander et Calcul de doses de sel nécessaires pour produire du NaClO au niveau de chaque station de traitement.

L'électrochlorateur fournit du NaClO contenant 6g/L de chlore actif en 1heure.

Selon ANTENNA Technologie 2011, pour traiter 1 m³ d'eau claire il faut injecter 0,25 L ou 250 mL de la solution concentrée à 6g/L de chlore actif donc la quantité de chlore actif (M_{ca}) est de 1,5 g/m³.

La dose de chlore nécessaire pour traiter l'eau entrant dans le réseau est donnée par la formule suivante :

$$D = Q \text{ (m}^3\text{/h)} * M_{ca}$$

a) Ville d'Arilit

Station de traitement S1: Q= 150 m³/h donc D = 150 m³/h *1,5 g/m³ = 225 g/h

Il faut donc un appareil fournissant 225 g/h pour traiter l'eau du Surpresseur 1. Sur la fiche technique de l'électrochlorateur, pour avoir 50g/h il faut 8,3 L/h d'eau, 0,19 Kg/h de sel et 0,5 Kw/h. la règle de trois donne donc pour une masse de 225g de chlore actif par heure, il faudrait utiliser 37,35 L d'eau, 855g de sel et 2,25 KW comme énergie.

La quantité de sel utilisé par jour est donc 20, 52 Kg. Le coût du Kg de sel est de 100 FCFA, le coût journalier de sel est donc de 2052 FCFA et annuel de **748 980 FCFA**.

Station de traitement S2: Q=120 m³/h donc D = 120 m³/h *1,5g/m³ = 180 g/h

Il faut donc pour le S2 un appareil qui peut fournir 180g/h. Pour produire 180g/h, il faudrait 29,88 L d'eau, 684g de sel et 1,8 KW comme énergie électrique.

La quantité de sel utilisé sur 24h est de 16,42 Kg, soit un coût journalier de 1642 FCFA et annuel de **599 330 FCFA**

Coût annuel total de sel = **1 348 310 FCFA**

b) Ville d'Akokan

Station de traitement Sud : Q= 175 m³/h donc D= 175 m³/h *1,5g/m³ = 262,5 g/h

Il faut donc un appareil qui peut fournir 262,5 g/h. Pour produire 262,5 g/h, il faudrait 43,57 L d'eau, 997,7 g de sel et 2,62 KW comme énergie électrique.

La quantité de sel utilisé sur 24h est de 23,94 Kg, soit un coût journalier de 2394 FCFA et annuel de **873 810 FCFA**.

Station de traitement Nord : $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ donc $D = 30 \text{ m}^3/\text{h} * 1,5 \text{ g/m}^3 = 45 \text{ g/h}$

Il faut donc un appareil qui peut fournir 45 g/h. Pour produire 45g /h, il faudrait 7,47 l d'eau, 171 g de sel et 0,45 KW comme énergie électrique.

La quantité de sel utilisé sur 24h est de 4,10 Kg, soit un coût journalier de 410 FCFA et annuel de **149 650 FCFA**.

Station de traitement Zone industrielle : $Q = 61 \text{ m}^3/\text{h}$ donc $D = 61 \text{ m}^3/\text{h} * 1,5 \text{ g/m}^3 = 91,5 \text{ g/h}$

Il faut donc un appareil qui peut fournir 91,5 g/h. Pour produire 91,5 g /h, il faudrait 15,19 L d'eau, 347,7 g de sel et 0,91 KW comme énergie électrique.

La quantité de sel utilisé sur 24h est de 8,34 Kg, soit un coût journalier de 834 FCFA et annuel de **304 410 FCFA**.

Coût annuel total de sel = **1 327 870 FCFA**.

***100F** = coût du kilogramme de sel vendu au marché