

Diagnostic Qualitatif et Optimisation du système d'Alimentation en Eau Potable d'Amtiman, Province du Salamat au Tchad

[Qualitative Diagnosis and Optimization of the Drinking Water Supply System of Amtiman, Salamat Province in Chad]

Epolyte Adjeffa¹ and Kaziri Adeline²

¹Département de Géographie, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

²Département de SVT, Ecole Normale Supérieure de N'Djamena, Chad

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the ***Creative Commons Attribution License***, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study aims to assess the current state of the drinking water supply system in the city of Amtiman, evaluating both its performance indicators and the quality of the distributed water. Following this assessment, a technical proposal is presented, along with a cost estimate for optimization to ensure a continuous drinking water supply to the city's residents. To this end:

The Epanet software was used to model the network.

The reservoir, performance indicators, and population estimate were determined using an analytical method. The results obtained show that it is necessary to (i) construct an additional 300m³ elevated reinforced concrete reservoir to serve the estimated 69,706 inhabitants in 2044, (ii) extend the water distribution network to 14,816 km, for a total of 20,347 km, and (iii) drill 6 new boreholes capable of pumping at least 40m³/h each, connected by a 140mm diameter HDPE supply pipeline. The total cost of the rehabilitation amounts to 975,798,050 FCFA.

KEYWORDS: Amtiman, water, diagnosis, optimization, Epanet.

RESUME: L'étude a pour but de faire un état de lieu du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Amtiman aussi bien dans l'évaluation de ses indicateurs des performances, que la qualité d'eau distribuée. A l'issue de ce diagnostic, une proposition technique est faite suivi d'une estimation du coût de l'optimisation afin de garantir un service continu dans la distribution de l'eau potable aux populations de ladite ville. Pour cela:

Le logiciel Epanet a servi à la modélisation du réseau.

Le réservoir, les indicateurs de performances et l'estimation de la population ont été déterminés par la méthode analytique. les résultats obtenus montrent qu'il faut (i) un réservoir surélevé de 300m³ en béton armé supplémentaires pour desservir les 69 706 habitants estimés en 2044 (ii) étendre le réseau de distribution de l'eau à 14.816 km soit un total de 20,347km et (iii) réaliser 6 forages nouveaux pouvant pomper au moins un débit de 40m³/h chacun, reliés par une conduite d'adduction en PEHD de diamètre 140mm. Le coût total de la réhabilitation s'élève à 975 798 050 FCFA.

MOTS-CLEFS: Amtiman, eau, diagnostic, optimisation, Epanet.

1 INTRODUCTION

L'eau douce est une denrée qui devient de plus en plus rare dans beaucoup de régions du monde, notamment en Afrique subsaharienne [1]. Cette denrée qui ne représente que 2.8% du volume total de l'eau de la planète contre 97.2% pour l'eau salée [2] subit une forte pression pour la satisfaction des besoins de la population. La pression sur les ressources en eau douce va encore augmenter avec la forte croissance démographique, la nécessaire croissance de la production agroalimentaire, le développement

industriel et l'amélioration des conditions de vie de la population [3]. Selon [4], l'Homme doit disposer d'une eau de qualité et de 40ml/kg du poids/j pour s'hydrater, éliminer les déchets et véhiculer les nutriments dans les organes.

Le Tchad dispose de ressources en eau abondantes qui contribuent à l'économie du pays mais sont affectées par les effets anthropiques et climatiques. La disponibilité et l'exploitabilité des ressources, principalement souterraines, varient fortement à travers le pays, compliquant la mobilisation de l'eau dans les régions de socle à l'est et au nord. L'agriculture est le plus gros utilisateur (près de 80%) et les prélèvements sont inférieurs à 5% du potentiel de ressources renouvelables. Toutefois, sous l'effet des changements climatiques, le pays est susceptible de connaître un déclin persistant de la pluviométrie, associé à des épisodes plus fréquents et plus sévères d'inondations et de sécheresses, accroissant la vulnérabilité de l'agriculture et de l'élevage qui sont la source de revenus de 80% de la population. L'urbanisation conjuguée à une absence d'assainissement adéquat conduit par ailleurs à une contamination bactériologique des nappes superficielles utilisées par de nombreux puits et forages privés.

Malgré des efforts marqués d'équipement en points d'eau et en adductions d'eau potable depuis 2003, le Tchad n'a pas atteint son objectif du millénaire pour le développement (60% de la population ayant accès à l'eau potable en 2015) et se situe très en-deçà de la moyenne de l'Afrique sub-saharienne, selon [5]. Le taux d'accès à une source d'eau améliorée est de 55,7% en 2017. Plus de la moitié des ménages n'ont accès qu'à un service de base. Seulement 25% de la population urbaine bénéficie de branchements domiciliaires mais qui ne répondent pas aux critères d'un service géré en toute sécurité, qu'il s'agisse de la qualité de l'eau fournie ou de la continuité du service. La ville de Amtiman, située dans la province du Chari-Baguirmi est alimentée par une muni AEP réalisée en 2002 et gérée par une Association des usagers de l'eau. Du constat du terrain, le système n'arrive plus à fournir un service d'eau continu de qualité pour la satisfaction des besoins en eau de la ville. D'où l'objectif global assigné à cette étude, contribué à l'amélioration des conditions de vie de la population locale par l'accès à l'eau potable fournie par un service continu et de qualité.

De manière spécifique, il s'agit de:

1. Faire un état de lieu du système d'AEP actuel;
2. Evaluer les indicateurs des performances;
3. Faire des propositions techniques et estimer le coût de l'optimisation.

2 MATERIEL ET METHODES

2.1 MATÉRIELS ET MÉTHODES

2.1.1 MATÉRIEL

2.1.2 LOCALISATION DE LA VILLE D'AMTIMAN

Amtiman est le chef-lieu de la Province du Salamat, elle est située au Sud-Est du Tchad entre 9^e et 12^e parallèle Nord et le 20^e méridien Est.

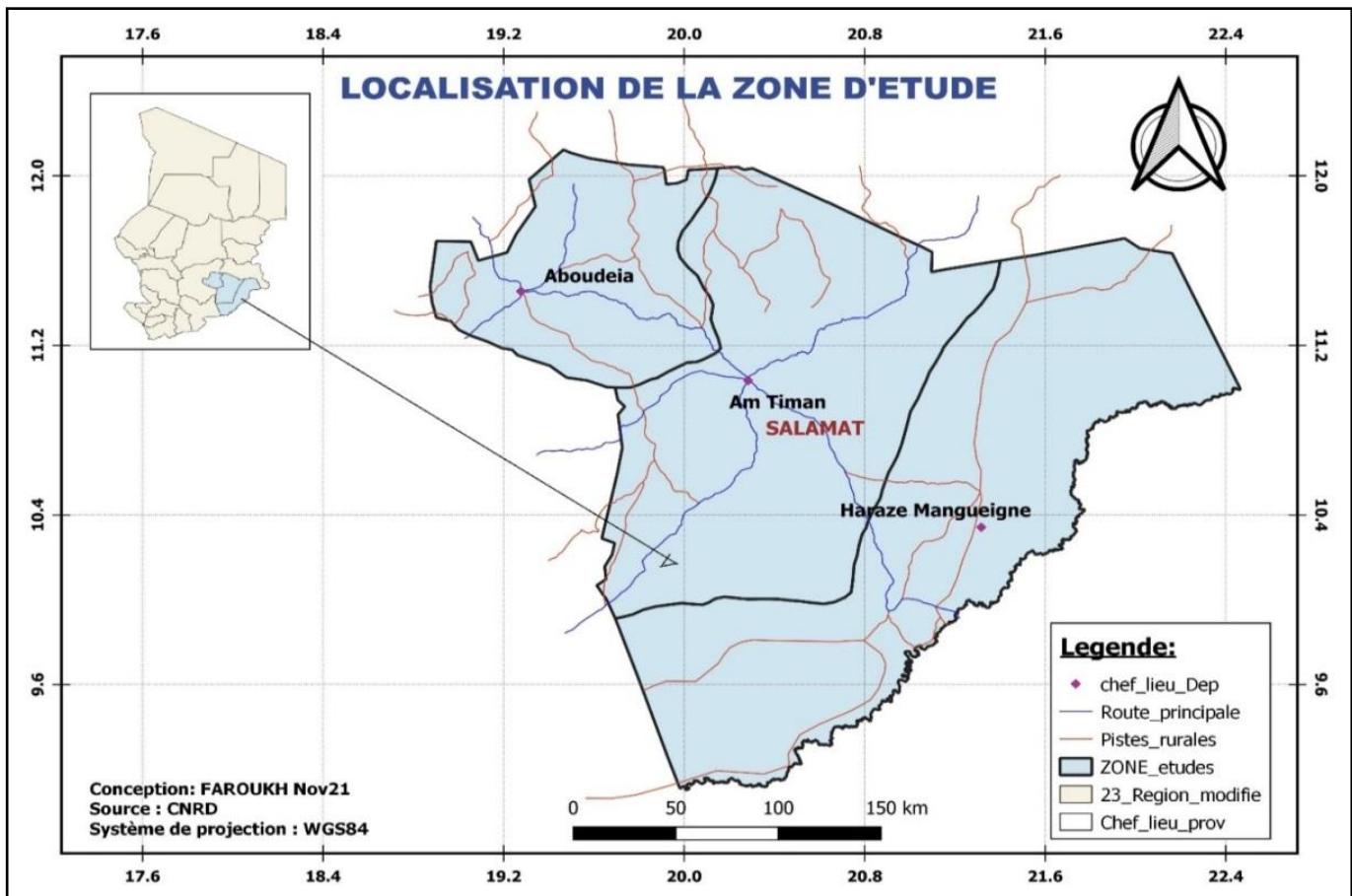


Fig. 1. Localisation de la ville d'Am Timan

2.1.2.1 TRAITEMENT DES DONNÉES

Après la collecte, le traitement des données a utilisé le tableur Excel 2019 pour la saisie et la correction des données. Le logiciel EPANET a été utilisé pour la simulation des réseaux sous-pressions, le calcul le débit de chaque tuyau, la pression dans les nœuds, le niveau de l'eau dans les réservoirs, le dimensionnement des zones de fonctionnement déficitaire et enfin le dimensionnement de l'extension du réseau de distribution. L'identification des nœuds s'est fait sous Google earth avant leur exportation sous le Global Mapper afin de déterminer les cotes. Enfin la réalisation des cartes est faite sous le logiciel QGIS 2.16 alors que le plan de masse et les détails des ouvrages sont dessinés sous Auto CAD. Le procédé de tracé en plan du réseau a consisté à la prise des coordonnées géographiques des nœuds à l'aide du GPS de marque Garmin 64 puis leur exportation sous le logiciel QGIS afin d'être convertis en données vectorielles (SHP). Les nœuds sont reliés par des droites et convertis en KML pour être exporter vers google earth. L'Export de KML de QGIS vers Google earth est fait grâce à la connexion.

2.1.3 MÉTHODES

L'étude a croisé quatre méthodes (i) l'état de lieu du système d'AEP (ii) l'évaluation des indicateurs des performances (iii) l'analyse de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau distribuée et (iv) une proposition technique suivie de l'estimation du coût de l'optimisation.

2.1.3.1 ETAT DES LIEUX DU SYSTÈME D'AEP À L'INSTALLATION

Toutes les composantes du Système d'AEP de la ville d'Am Timan ont été inspectées et des photographies des lieux est faite suivi d'un narratif, le tout présenté sous forme des résultats.

2.1.3.2 DETERMINATION DES INDICATEUR DE PERFORMANCE DU SYSTEME

RENDEMENT DU RESEAU DE DISTRIBUTION (R)

Le réseau de distribution peut occasionner d'énormes pertes par sa nature et ses points faibles que sont les branchements et les noeuds. Le rendement d'un réseau de distribution est la mesure d'écart entre le volume entrant dans le réseau et le volume consommé ou facturé. Il se calcule par la formule suivante:

$$R = \frac{Vf}{Vd}$$

Vf: volume facturé; Vd: volume distribué

Tableau 1. Appréciation du rendement primaire

50% à 60%	Mauvais
60% à 70%	Médiocre
70% à 75%	Moyen
75% à 80%	Bon
80% à 85%	Très bon
85% à 90%	Excellent

INDICE LINÉAIRE DE CONSOMMATION (ILC)

L'indice linéaire de consommation (ILC) est le rapport entre le volume consommé et la longueur du réseau de distribution. Il se calcule comme suit:

$$ILc = \frac{Vd}{Lr}$$

ILC: Indice linéaire de consommation

Vd: volume distribué

Lr: longueur du réseau

Il est important dans la qualification d'un réseau le tableau N°2 caractérise cet indicateur.

Tableau 2. Classification des réseaux

Type de réseau	Indice de consommation	
	(m ³ /j/km)	(m ³ /h/km)
Réseau de type rural	lc<10	lc<0,417
Réseau de type intermédiaire	10<lc<30	0,417 <lc < 1,25
Réseau de type urbain	lc>30	lc>1,25

INDICE LINÉAIRE DE PERTE (ILP)

L'indice linéaire de perte (ILP) est un facteur traduisant soit l'état soit la qualité de mise en œuvre du réseau. Il permet d'avoir une idée de pertes d'eau par kilomètre. Il est calculé de la façon suivante:

$$ILp = \frac{Vp}{Ldx365}$$

Ilp: indice linéaire de perte;

Vp: volume perdue;

Ld: longueur de distribution

Tableau 3. Valeurs de référence de l'ILP

Indice de perte (m ³ /j/km)	Rural	Intermédiaire	Urbain
	< 25 abonnés/km	< 50 abonnés/km	> 50 abonnés/km
Bon	< 1,5	ILP < 3	ILP < 7
Acceptable	1,5 < ILP < 2,5	3 < ILP < 5	7 < ILP < 10
Mediocre	2,5 < ILP < 4	5 < ILP < 8	10 < ILP < 15
Mauvais	> 4	ILP > 8	ILP > 15

INDICE DE CONSOMMATION PAR HABITANTS (ICH)

Cet indice permet de savoir si l'eau est utilisée à bon escient ou gaspillée. Il est déterminé en faisant le rapport entre le volume total comptabilisé chez les abonnés et le nombre d'habitants de la période. Il est obtenu par la formule suivante:

$$ICH = \frac{Vc}{P}$$

ICH: Indice de consommation par habitant;

Vc: Volume comptabilisé;

P: population ou nombres d'habitants

2.1.4 ANALYSE AU LABORATOIRE

ANALYSE DES PARAMÈTRES PHYSICO-CHIMIQUES

Trois échantillons d'eau ont été prélevés dans trois bornes fontaines de la ville. Certains paramètres tels que le potentiel d'hydrogène (pH), la Température, la conductivité électrique ont été mesurés in situ. Les échantillons prélevés ont été conservés dans une glacière et acheminés le même jour du prélèvement au Laboratoire Nationale des Eaux (LNE), branche de Mongo pour analyse. Les paramètres chimiques analysés sont d'une part, les ions Ca²⁺ Mg²⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ dosés suivant la méthode volumétrique et d'autre part, les ions Na⁺ et K⁺ qui sont déterminés par la méthode spectrométrique utilisant le spectrophotomètre à flamme. Enfin les éléments tels que le Fer total, les ions SO₄²⁻, NH₄⁺ et NO³⁻ sont déterminés par le spectrophotomètre DR2800. L'analyse de ces paramètres vise à déterminer la concentration de ces éléments dans l'eau de consommation puis à se prononcer sur le risque d'une contamination chimique.

ANALYSE DES PARAMÈTRES MICROBIOLOGIQUES

L'analyse bactériologique a été effectuée en janvier 2024. Trois échantillons ont été prélevés et analysés au laboratoire Nationales des eaux (LNE), branche de Mongo. L'analyse a porté sur les germes indicateurs de la pollution tels que: les Coliformes totaux, les Entérocoques fécaux, les Escherichia coli et les flores aérobies totales. Le procédé d'analyse a été basé sur l'ensemencement sur des milieux des cultures, chromocult (gélose) pour les coliformes totaux, fécaux et Escherichia coli et le milieu P pour les flores aérobies totales. Les échantillons ont été préalablement filtrés sur une membrane avant leur ensemencement sur les milieux de culture respectifs. La durée d'incubation varie de 24 à 48 heures, à une température de 37°C pour les coliformes totaux et de 44°C pour les coliformes fécaux. Elle est de 24 heures sous la température de 37°C pour les flores aérobies totales.

2.1.4.1 ESTIMATION DE LA POPULATION À DESSERVIR

L'estimation de la population actuelle et future de la ville de Amtiman est calculée par la formule: $P_f = P_0 (1 + T)^n$ ou P_f : Population future; $T=3,6\%$: le taux d'accroissement (source: INSEED); n : le nombre d'année ($n = 2044 - 2024 = 20$ ans); P_0 : Population à l'année de référence (20 943 habitants, source: INSEED);

2.1.4.2 ESTIMATION DES BESOINS EN EAU

L'estimation des besoins en eau s'est basée sur la norme de l'OMS qui fixe des dotations en fonctions des secteurs consommateurs.

Tableau 4. Normes OMS 2015

Pour le nettoyage des rues et l'arrosage des jardins	3 à 5 l/j/m ²
Pour les ménages ou usages domestiques	60L/jour /habitants
Hôpitaux	300 à 600l/jour /lit
Pour les administrations	100 à 200 l/jour/employé
Pour les Ecoles Primaires	10 à 20 l/jour/élève
Pour les Lycées	20 à 30 l/jour/élève
Pour les Facultés et Foyers Universitaires	100 à 200l/jour/étudiant

- BESOINS DOMESTIQUE: de 60 l/j/hbts (Selon le SDEA).
- BESOINS PUBLICS: 10% de la consommation domestique moyenne journalière
- BESOINS DIVERS: 5% de consommation domestique moyenne journalière

Tableau 5. Estimation des besoins en eau, de la population de la ville

DESIGNATIONS	UNITE	FORMULE
POPULATION	Habitant	$PF = P_0(1+T)^n$
BESOIN DE PRODUCTION JOURNALIERE(Qmoyj)	m ³ /j	$Qmoyj=34362*60/1000$
BESOIN JOURNALIER MAXIMAL (Qmax)	m ³ /j	$Qmaxj=2061.72*1.3$
DEBIT MOYEN HORAIRE	m ³ /h	$Qmoyh=Qmaxj/24$
DEBIT DE POINTE HORAIRE	m ³ /h	$Qmaxh=1.37*111.68$
BESOIN DES SERVICES DIVERS	m ³ /h	$BSD=153x5\%$
BESOIN DES SERVICES PUBLICS	m ³ /h	$BSE=10\%*153$
PERTE Dû AU RENDEMENT DU RESEAU	m ³ /h	$Pertes=x10\%$
BESOIN DU JOUR DE POINTE TOTAL	m ³ /h	$BJPT=BPJxCps$
COEF DE PERTE HORAIRE	Unité	
DEBITS DE 2 FORAGES	m ³ /h	32
NOMBRE D'HEURE DE POMPAGE PAR JOUR	Unité	120/32
NOMBRE DE FORAGES	m ³ /h	$NF = QI / Q_f$ Nr : nombre des forages QI : débit d'eau transite depuis le forage de piquage jusqu'à la station de traitement (m ³ /j); Q_f : débit de forage (m ³ /j)

2.1.4.3 CALCUL DE LA CAPACITE DU RESERVOIR

Le réservoir doit avoir une capacité suffisante. Cette dernière doit prendre en compte la variation de débit entrant (DV+) et le débit sortant (DV). Pour estimer la capacité du réservoir, il ya la méthode graphique qui tient compte de la courbe de la consommation totale déduite à partir des coefficients de variations horaires et aussi de la courbe d'apport de débits, ou par la méthode analytique qui englobe les débits d'apport et les débits consommés.

Pour ce projet la méthode analytique a été utilisé pour déduire la capacité du réservoir à partir des résidus entre les débits d'apports cumulés et les débits consommés pour chaque heure de la journée et sans oublier la réserve d'incendie:

- Volume d'apport: $Qapp=Qmaxj/24$ (m³)
- Volume consommé: $Q_{cons}=Q_{app} \times K_h \times 24/100$

Avec K_h = coefficient horaire.

Le volume du réservoir total est donné par la relation suivante

$$Vr (m^3) = | V+max | + | V-max | + Vi (m^3)$$

V_r = Volume total du réservoir

V^+_{max} = différence du réserve positive maximale: $V^+=V_{app\ cum} - V_{cons\ cum}$

V^-_{max} = différence de la réserve négative maximale: $V^-=V_{app\ cum} - V_{app\ cum}$

Vi = réserve d'incendie. (On prend 120m³)

Tableau 6. Détermination du volume de réservoir d'extension à l'horizon 2044

Qmaxj=5437,07m ³ /j	Coef.	Volume d'eau en m ³		Volumes cumulés		ΔV (m ³)	
Heure	Kh(%)	Apport	Consom	Apport	Consom	V+	V-
0-1	3	226,54	163,11	226,5	163,11	63,43	
0-2	3,2	226,54	173,99	453,1	337,10	115,98	
0-3	2,5	226,54	135,93	679,6	473,03	206,59	
0-4	2,6	226,54	141,36	906,2	614,39	291,77	
0-5	3,5	226,54	190,30	1132,7	804,69	328,01	
0-6	4,1	226,54	222,92	1359,2	1027,61	331,63	
0-7	4,5	226,54	244,67	1585,8	1272,27	313,51	
0-8	4,9	226,54	266,42	1812,3	1538,69	273,63	
0-9	4,9	226,54	266,42	2038,9	1805,11	233,75	
0-10	4,6	226,54	250,11	2265,4	2055,21	210,19	
0-11	4,8	226,54	260,98	2491,9	2316,19	175,75	
0-12	4,7	226,54	255,54	2718,5	2571,73	146,75	
0-13	4,4	226,54	239,23	2945,0	2810,97	134,05	
13-14	4,1	226,54	222,92	3171,6	3033,89	137,67	
14-15	4,2	226,54	228,36	3398,1	3262,24	135,86	
15-16	4,4	226,54	239,23	3624,6	3501,47	123,17	
16-17	4,3	226,54	233,79	3851,2	3735,27	115,91	
17-18	4,1	226,54	222,92	4077,7	3958,19	119,53	
18-19	4,5	226,54	244,67	4304,3	4202,86	101,40	
19-20	4,5	226,54	244,67	4530,8	4447,52	83,28	
20-21	4,5	226,54	244,67	4757,3	4692,19	65,15	
21-22	4,8	226,54	260,98	4983,9	4953,17	30,71	
22-23	4,6	226,54	250,11	5210,4	5203,28	7,14	
23-24	4,3	226,54	233,79	5437,0	5437,07		-0,11

Le tableau N°6 donne la valeur de la différence du volume de la réserve positive maximale **273.63m³** et le volume de la réserve négative maximale **0**.

DIMENSIONNEMENT DU RESERVOIR

Le réservoir étant de forme circulaire, les dimensions principales seront déterminées à partir de la relation suivante:

LE VOLUME: V_R

$$V_r = S \times h$$

$$V = \frac{\pi D^2}{4} * h \quad \cong \quad D = \sqrt{\frac{4*V}{\pi*h}}$$

S= surface de base du réservoir

V: volume du réservoir (m³)

D: diamètre du réservoir (m)

h: hauteur d'eau dans le réservoir

Pour la hauteur d'eau « h » du réservoir peut être variée entre (3 et 6) m au château d'eau moins de 5000 m³ et pour les grands ouvrages cette hauteur peut atteindre 7 à 8 m.

DIAMÈTRE DU RÉSERVOIR

$$D = \sqrt{\frac{4 * V}{\pi * 4}}$$

Dans notre cas nous prenons une hauteur de la tranche d'eau dans le réservoir $h = 5 \text{ m}$

$V_r = 400 \text{ m}^3$

Donc: $D = (4 \times 400 / 3.14 \times 4)^{1/2} = 11.29 \text{ m}$

HAUTEUR TOTALE DE LA CUVE

$$H = H_2 + H_1$$

Pour déterminer H_1 et H_2 nous passons d'après les formules de **FONLLADOSA**:

H1: Hauteur libre du niveau de l'eau jusqu'à la base de la ceinture supérieure

H2: Hauteur d'eau utile

DIMENSIONNEMENT DE CONDUITE D'ADDUCTION PAR REFOULEMENT

Le diamètre d'une canalisation se fait en tenant compte des paramètres hydrauliques suivants (Débit, vitesse et perte de charge). La conduite de refoulement de notre réseau calculé par les formules Bresse tout en respectant les Conditions de Flamant:

$$V \leq 0.6 + D \text{ (m)}$$

$$D_{ec} = K \sqrt{Q} \text{ (relation de Bresse)}$$

K: Un coefficient de Bresse compris entre 1.1 et 1.3 (**On prend K = 1.3**)

Q: débit transite du point de piquage jusqu'au réservoir de stockage

$$Q = 40 \text{ m}^3/\text{h} = 0.0111 \text{ m}^3/\text{s}$$

D_{ec} = diamètre économique

CHOIX DU TYPE DE POMPE ET GROUPE ELECTROGENE

Le choix de la pompe se fait grâce à un catalogue des pompes fournis par le constructeur en fonction de débit, de la hauteur manométrique total et le rendement de la pompe.

HAUTEUR MANOMETRIQUE TOTALE

La hauteur manométrique totale représente la somme de la hauteur géométrique (H_g), et des pertes de charge totale:

$$H_{mt} = H_g + \sum \Delta H$$

H_g: Différence de niveau entre le plan d'aspiration et le plan de refoulement (m)

$\sum \Delta H$: Somme des pertes de charge linéaires et singulières (m) La hauteur géométrique sera calculée de la manière suivante:

$$H_g = ND + H_{SC} + H_{CE}$$

PUISSEANCE UTILE OU HYDRAULIQUE DE LA POMPE

C'est la puissance transmise au fluide par la pompe, elle est donnée par la formule suivante:

$$P_u = g H_{mt} Q$$

P_u: Puissance hydraulique de la pompe en (**kwatt**).

H_{mt}: hauteur manométrique totale en (**m**).

Q: débit refoulé par la pompe en (**m³/s**).

g: accélération de la pesanteur (**9.81m/s²**)

PIUSSANCE ABSORBEE DE LA POMPE

C'est la puissance nécessaire à l'entraînement mécanique de la pompe. Elle est déterminée par la formule suivante:

$$P_{ab} = \frac{g * H_{mt} * Q}{\eta} = \frac{P_u}{\eta}$$

P_{ab}: puissance absorbée par la pompe (Kwatt);

g: Accélération de la pesanteur (m/s²);

η: rendement de la station de pompage (compris entre 70 à 80%) on prend η =0,75.

ENERGIE CONSOMMEE PAR LA POMPE

Elle est exprimée par la formule suivante:

$$E = P_{ab} \times T \times 365$$

E: Energie consommée par la pompe en Kwatt.h

P_{ab}: puissance absorbé de la pompe en Kwatt.

T: nombres d'heures de pompage par jour (dans notre étude **t=6h**).

LES FRAIS D'EXPLOITATION

Le frais d'exploitation est égal:

$$F_{exp} = e \times E$$

e: prix d'un Kwatt.h (Fcfa/Kwh) fixé par la SNE, e=85 Fcfa/Kwatt.h

E: énergie consommée par la pompe (Kwatt.h)

LES FRAIS D'AMORTISSEMENT

Le prix de l'amortissement de la conduite est déterminé par la formule suivante:

$$F_{am} = P_u \times L \times A$$

P_u= Prix unitaire de la conduite (Fcfa/ml); Pour notre conduite d'adduction de refoulement de DN: 140 mm Pu est égale 25 000 FCFA

L: Longueur de la conduite en m pour notre conduite de refoulement L = 50m

A: L'Amortissement annuel (Annuité) de la conduite est estimé à 8 % (n=20ans) **BILAN TOTAL**

Pour faire le bilan complet d'une adduction, le bilan c'est la somme des frais d'amortissement et d'exploitations.

$$B = F_{am} + F_{exp}$$

2.1.4.4 DETERMINATION DE LA PIUSSANCE APPARENTE DU GROUPE

La puissance apparente du groupe sera calculée par la formule suivante:

$$P_{ap} = \frac{Pm (Kw)}{\cos \varphi}$$

P_{ap} = puissance apparente (réelle) électrique en sortie du groupe électrogène (**en kVA**)

P_m = puissance absorbé électrique en sortie du groupe électrogène (**en Kw**)

Cosphi = facteur de puissance (généralement compris entre 0.8 et 1) On prend dans notre cas 0.9

PIUSSANCE DU GROUPE

La puissance du groupe sera le double de la puissance consommée par le moteur de la pompe: $P=2*P_{ap}$, pour l'utilisation de la pompe doseuse, une majoration de 20% de cette puissance est nécessaire.

3 RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 RESULTAT DE L'ETAT DE LIEU DU SYSTEME ACTUEL



Photo 1. Forage en panne



Photo 2. Groupe électrogène en panne



Photo 3. Réservoir fissuré

Tableau 7. Etats des Equipements

N°	Désignations des Composantes	Capacité	Marque	Remarques
1	Château conique en BA, hauteur sous cuve de 15m	500m ³	BA	Problème d'étanchéité par endroit
2	02 Groupes électrogènes	15 KVA	SDMO	L'un des groupes est en arrêt, l'autre de mauvais état
3	Pompe immergée	7,5kva	Franklin	En bon état
5	Dispositif de chloration			Absent
6	1 forage	16m ³ /h		Profondeur du forage : 88m; NS : 58,80m; Diamètre forage : Ø200mm
7	Réseau de distribution	Total linéaire : 4 981ml	PVC	Ramifié avec comme conduite principale constitué en PVC de 90mm ;
8	10 Bornes fontaines			Six sont en arrêt par manque des accessoires

Tableau 8. Résultats des paramètres chimiques, physiques et bactériologiques

Résultats des paramètres chimiques												
Nom de l'échantillon	Cations en mg/l							Anions en mg/l				
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Fe	Mn	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	F ⁻
BF1	110.4	15.0	3.1	13.6	1.03	0.01	0.25	353.8	14.0	19.0	19.5	1.7
BF2	109.2	15.2	3.1	13.3	1.03	0.02	0.26	353.4	14.0	19.2	20.6	1.8
BF3	110.4	15.1	3.3	13.5	1.05	0.01	0.27	355.0	1420	20.0	20.6	1.7
Normes /OMS	≤200	≤50	≤ 12	≤200	≤1.5	≤0.3	≤ 1.5	Aucune mention	≤ 250	≤250	≤50	≤1.5
Résultats des paramètres physiques												
	T°C	CE (mg/l)	PH	Turb (NTU)								
BF1	29,6	1762,00	7,1±0,5	2.41								
BF2	31,2	1762,1	7,1±0,5	2,4								
BF3	31	1762,00	7,01± 0,5	2.4								
Normes /OMS		2500	6,5 ≤ pH ≤ 8,5	5								
Résultats des paramètres bactériologiques												
	E. Coli	C.T	E.F	F.A..T								
BF1 (UFC/100 ml)	0	0	0	0								
BF2 (UFC/100 ml)	0	0	0	0								
BF3 (UFC/100 ml)	0	0	0	0								
Normes/OMS	Ne doivent être retrouvés dans une prise d'essai de 100 ml d'échantillon analysé											

NB: E.coli= Echerichia Coli; C.T=coliformes totaux; E.F=Entérocoques fécaux; F.A.T=Flore aérobie totale

3.2 RESULTATS D'ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET BACTERIOLOGIQUES

L'analyse des paramètres physiques des eaux échantillonnées montre que les températures de zone d'étude varient entre 29°C à 31.2°C avec une moyenne arithmétique de 30,6°C. Elles varient de manière cohérente avec les températures moyennes mensuelles de l'air mesurées à la station de Mongo (30 à 41°C). Les valeurs du pH mesurées sont homogènes sur l'ensemble des eaux échantillonnées et conformes aux normes nationales des eaux de consommation. Les valeurs des conductivités électriques sont les mêmes sur l'ensemble de la zone d'étude toutefois, elles restent élevées cela peut probablement s'expliquer par la forte minéralisation de l'eau et l'évaporation au regard des fortes températures enregistrées dans la zone. L'analyse des éléments chimiques présente globalement des concentrations normales au regard de la norme nationale. Il en est de même pour les paramètres bactériologiques. Ces résultats sont similaires à ceux obtenus par [6] dans la ville de mongo voisine.

On note concentration anormale du fluor (1.8mg/l) contre la norme de l'OMS qui est de 1.5mg/l. Selon [7], le fluor en excès peut s'accumuler dans les dents et les os, induisant une fluorose. A l'image des autres produits chimiques, le fluor et les fluorures ont à la fois des effets bénéfiques et toxiques qui ont des implications importantes en santé publique. Si l'on a pu constater qu'une dose optimale continue de 1 mg de fluor par litre d'eau de boisson est bénéfique pour la prévention des caries, l'exposition prolongée à des quantités plus importantes peut avoir des effets nocifs sur l'email et les os [8].

Les dents définitives qui apparaissent au cours de périodes d'apports fluorés importants, peuvent être fortement atteintes. Les effets indésirables connus d'une exposition excessive au fluor (provenant de l'eau de boisson ou d'une combinaison de sources) peuvent aller de la fluorose dentaire légère à la fluorose osseuse débilitante [9]. Les principales manifestations cliniques sont la fluorose dentaire et la fluorose squelettique [10], [11].

3.3 RESULTAT DE TRACE EN PLAN DU RESEAU EXISTANT ET PROJETES

Le tracé de l'ancien réseau de la ville de Amtiman et la représentation des noeuds hydrauliques représentés par la figure N° 2 s'est fait sous Google earth

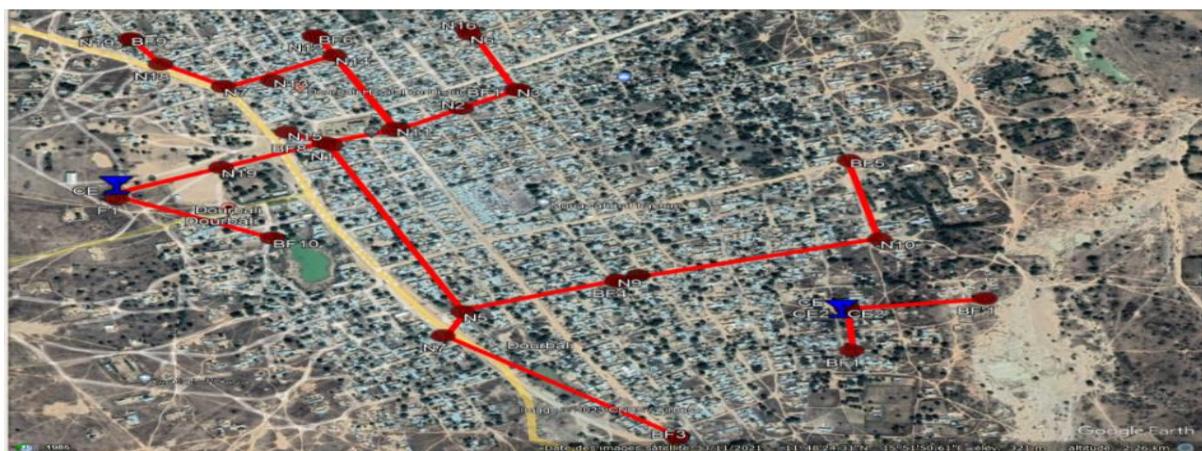


Fig. 2. Tracée du réseau existant extraite de Google earth

A Partir de l'ancien réseau, les projections ont été faites en lien avec l'extension de la ville. Tout cela est représenté par la figure N° 3.



Fig. 3. Tracée du réseau existant et projeté extraite de Google earth

3.4 RESULTATS DE LA SIMULATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION

La simulation du réseau comme représenté par la figure N° 4, fournie toutes les informations sur les conduites et les nœuds mise en place dans l'ensemble du réseau de distribution. Le résultat positif de simulation fournit un rapport complet sur les arcs et les nœuds du réseau. Il a permis de corriger certaines conduites existantes qui étaient sous-dimensionnées.

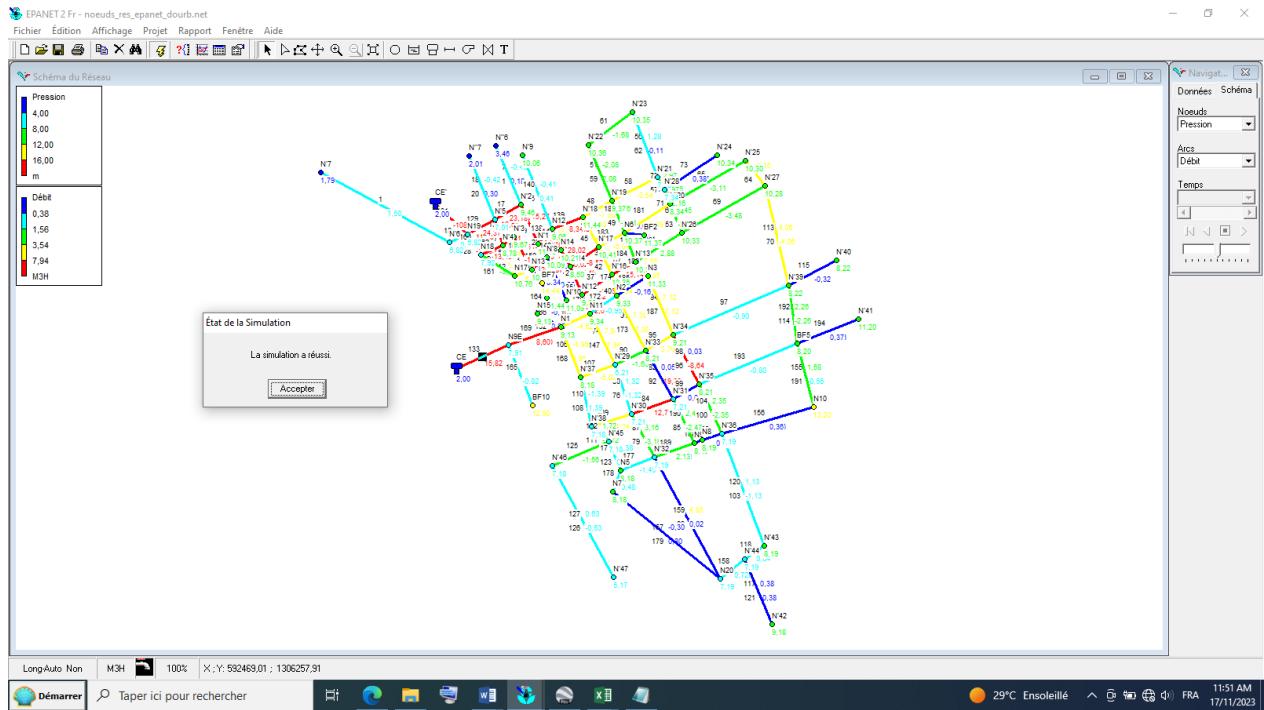


Fig. 4. Simulation

Après la projection en lien avec l'extension de la ville d'Amman, la simulation sous Epanet a permis d'adopter la conduite de diamètre 90mm en PVC pour le réseau étendu de **4 981ml**. Le tableau N° 9 indique les longueurs des tronçons obtenus avec les diamètres correspondants.

Tableau 9. Conduite de distribution du réseau étendu

Tronçons	Longueur (m)	Diamètre unique en PVC de 90 mm
CE -N9E	194	90
BF10-N9E	265,95	90
N9E-N1	250	90
N1-N11	138	90
N11-N2	150	90
N2-N3	138	90
N3-N6	256	90
N11-N14	294	90
N14-N12	144	90
N14-N13	132	90
N1-N15	85	90
N13-N17	110	90
N17-N18	226	90
N18-N19	110	90
N1-N5	650	90
N5-N7	78	90
N7-N20	553	90
N5-N9	305	90

N9-N8	32	90
BF2-N6	70,59	90
N10-BF5	287,69	90
N8-N10	512	90
Total (ml)	4 981	

3.5 RESULTAT DES INDICES DE PERFORMANCE DU SYSTEME

Les résultats des indicateurs de performance du système d'alimentation en eau d'Amtiman sont consignés dans le tableau N°10

Tableau 10. Résultats des indicateurs de performance

Désignation	Valeur obtenue	Observations	Date
ICH	6l/hab./j	Très faible	2024
ILP	11, 56	Médiocre	2024
ILC	38,55 m ³ /j/km	Réseau de type urbain	2024
R	69%	réseau médiocre	2024

Les indicateurs de performance renseigne sur l'état de fonctionnement d'un système d'alimentation en potable. Selon [12], la qualité d'un réseau de distribution dépend de son rendement, entre 60% - 70%, le réseau est **médiocre** et nécessite une optimisation.

3.6 RESULTATS DE L'ESTIMATION DES BESOINS EN EAU, DES POPULATIONS ET DES ÉQUIPEMENTS

L'estimation des besoins en eau, des populations et des équipements sont consignés dans le tableau N°10

Tableau 11. Résultat de l'estimation des BE, des population et des équipements

Désignation	Unité	2024	2044
Population	nb	34 362	69 706
Consommation spécifique (Cs)	L/j	60	60
Besoin de production journalière (Qmoy)	m ³ /j	2 061.72	4182.36
Besoin journalier maximal (Qmax)	m ³ /j	2 680.24	5 437.07
DEBIT REFOULE	m ³ /j	668.48m ³	668.48m ³
NOMBRE D'HEURE DE POMPAGE PAR JOUR	Unité	6	6
Nombre de forage	unité	7	7
Hauteur manométrique	m	67.48m	
Volume du réservoir300)	m ³		300
PUISANCE DU GROUPE	KVA	24	24

BUDGET D'OPTIMISATION

Les détails du budget pour la réhabilitation de l'AEP d'Amtiman sont consignés dans le tableau N°12.

Tableau 12. Détail du budget de réhabilitation de l'AEP d'Amtiman

N°	Désignation	Unité	Quantité	AEP DE AMTIMAN	
				Prix Unitaire	Prix Total (PT)
1	Préparation, Mobilisation, aménée et installation de l'ensemble de moyens humains et matériels nécessaires et repli en fin des travaux	FF	1	20 000 000	20 000 000
2	Etude d'exécution de l'AEP (levés topographiques altimétriques et planimétriques, et hydrauliques)	FF	1	6 000 000	6 000 000
3	Exécution complète de six forages de 12" avec équipement d'une profondeur de 100ml	U	6	12 000 000	72000000

	Construction d'un local et équipement chloration (pompe doseuse, bac de dosage y compris tous les accessoires)	U	1	15 000 000	15 000 000
4	Construction d'un château en BA d'une capacité de 300m3 avec une hauteur de 12 m y compris la fourniture et pose des robinetteries et accessoires de raccordement	U	1	270 000 000	270 000 000
	Construction de borne fontaine en béton armé comprenant la pose de conduite en acier Galva et autres accessoires (compteurs, robinets)	U	15	2 750 000	41 250 000
5	Réhabilitation de bornes fontaines existants (remise en état des toitures y comprise la fourniture et pose des robinetteries et accessoires divers)	U	10	1 100 000	11 000 000
6	Construction des regards en BA de dimension 1,00mx1,00m*0,8m pour équipements (vannes d'arrêt, ventouse)	U	40	250 000	10 000 000
7	Aménagement de tête de forage avec construction d'un local de 9m ² y compris le coffret de la commande et les pièces de recharges de la tête de forage suivant le plan	U	6	2 500 000	15000000
8	Construction d'un local de 30m ² servant de magasin	U	1	7 000 000	7000000
9	Fourniture et pose de la conduite d'adduction enterré en PEHD DN 140 entre la tête de pompe et le château	ml	55	11 500	632500
10	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 200 y compris tous les suggestions	ml	1 034	14 500	812000
11	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 160 y compris tous le suggestion	ml	541	12 000	6492000
12	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 125 , y compris tous le suggestion	ml	1010	12 500	12625000
13	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 110 , y compris tous le suggestion	ml	7104	13 000	92352000
14	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 90, y compris tous le suggestion	ml	3254	11 000	35794000
15	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 63, y compris tous le suggestion	ml	2688	17 500	47040000
16	Fourniture et pose de la conduite de distribution enterré en PEHD DN 50, y compris tous le suggestion	ml	2055	10 000	20550000
17	Branchemet particulier en tuyau galva et robinet de puisage	U	30	280 000	8400000
18	Construction d'un local abri groupe de 50m ²	U	1	12 000 000	12000000
19	Construction d'un local gardien de 20m ²	U	1	6 000 000	6000000
20	Construction d'une clôture en grillage sur fondation en B,A (longrine) avec des poteaux métalliques distant de 3m sur des semelles isolés en B,A	ml	200	23 000	4600000
21	Fourniture et pose d'un portail métallique en barreau de 3m de large	U	1	250 000	250000
22	Fourniture et pose deux groupes électrogènes de 50 KVA chacun, y compris coffret de commande	U	4	9 000 000	36000000
23	Fourniture d'une caisse a outil complet pour l'entretien courant de groupe électrogène	lot	1	3 000 000	3000000
24	Fourniture de stock de :	lot	1	1 500 000	1 500 000
	1000 litres de gasoil				
	100 litres d'huile de vidange				
	10 filtres à air ; 10 filtres a gasoil et 10 filtres à huile				
25	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 34	U	1	230 000	230000
26	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 42,6	U	1	215 000	215000
27	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 53,6	U	1	200 000	200000
28	Fourniture et pose de robinet vanne d'isolement DN 79,2	U	1	185 000	185000
29	Formation des deux personnes pour la gestion du château (démarrage de la pompe immergé et groupe électrogène, entretien courant de groupe électrogène	FF	1	1 000 000	1 000 000
30	TOTAL EN HT FCFA				757 127 500

31	TVA 18%				136 282 950
32	TOTAL NET TTC				893 410 450

Soit un budget total estimé à huit cent quatre-vingt-treize millions quatre cent dix mille quatre cent cinquante franc CFA (893 410 450FCFA) toute taxe comprise.

4 CONCLUSION GENERALE

L'objectif de l'était de faire un état des lieux du système d'alimentation en eau potable de la ville d'Amtiman et proposer une optimisation. Pour cela les logiciels Epanet, QGIS3.18 et Google earth ont été mis en contribution.

Les résultats des indicateurs de performance montrent que le système d'AEP de la ville d'amtiman est complètement médiocre avec un rendement de 69%. En plus de sa médiocrité, il ne desserve pas toute la ville qui s'est agrandi au fil du temps.l'Etude a proposé une extension du réseau de distribution à 14.816 kml.

La simulation a permis de redimensionner le système tout en corrigeant les conduites qui étaient tantôt vétustes et tantôt sous dimensionner. Pour la satisfaction des besoins en eau de toute la ville à l'horizon du projet en 2044, un réservoir supplémentaire de 300m³ en béton armé a été proposé. Le coût global de l'optimisation est estimé à neuf cent soixante-quinze millions sept cent quatre-vingt-dix-huit mille cinquante franc CFA (975 798 050 FCFA) toute taxe comprise.

REFERENCES

- [1] PAQUEROT S., 2005. Eau douce-la nécessaire refondation du droit international, presse de l'université de Québec (ISBN: 2-7605-1323-8).
- [2] OMM AND UNESCO 1997. *Y aura-t-il de l'eau sur la terre*, OMM Nr857.ONU (1992). Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, New York: Nations Unies.
- [3] BARON C., 2009. L'eau en Afrique: disponibilité et accès. Revue Futuribles N°359 WHO/UNICEF Joint Monitoring Program – Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene (2019 update).
- [4] ANAN, 2004: Atelier de sensibilisation et d'éducation sur l'importance physiologique de l'eau par l'Agence Nationale pour l'alimentation et la nutrition.
- [5] JMP, 2019: Programme conjoint de suivi de l'OMS et de l'UNICEF sur le taux d'accès à l'eau potable et Assainissement au Tchad.
- [6] KABO Moussa Gado, 2022: Caractérisation des ressources en eau souterraine dans la zone du socle cristallin: cas de la ville de Mongo.
- [7] Larry E.Johnson, MD, PhD, University of Arkansas for Medical Sciences. Vérifié/Révisé juil. 2024.
- [8] Lai PY, Seow WK, Tudehope DI, Rogers Y. Enamel hypoplasia and dental caries in very low birth weight children: a case controlled, longitudinal study. Pediatr Dent 1997; 19: 42–9.
- [9] Locker D, Lawrence H, Jokovic A. Benefits and risks of water fluoridation: an update of the 1996 federal-provincial sub-committee report. Toronto, ON: University of Toronto. Faculty of Dentistry. Community Dental Health Services Research Unit; 1999.
- [10] Sun, D.J., An, D., 2018. Prevention and treatment of coal-burning type of endemic fluorosis caused by coal combustion in China. People's Health Press, Beijing.
- [11] Hendryx, M., Zullig, K.J., Luo, J., 2020. Impacts of coal use on health. Annu. Rev. Public Health 41, 397–415.
- [12] Weber.F, 2001: Leadership and organization Development-emerald.com