

Évaluation de la durabilité du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djamena au Tchad

Ali Moussa ABAKAR^{1*}, Halidou ALASSANE HADO² et Mahaman Moustapha ADAMOU²

¹ Institut National Supérieur du Sahara et du Sahel d'Iriba, Département de Génie Rural, BP 1236 N'Djaména, Tchad

² Université Abdou Moumouni, Faculté d'Agronomie, Laboratoire Eaux, Environnement et Génie Civil (L2E-GC), Niger

(Reçu le 09 Février 2026 ; Accepté le 30 Mars 2026)

* Correspondance, courriel : aabakarali@gmail.com

Résumé

La question de l'accessibilité à l'eau potable pose problème avec acuité au Tchad et particulièrement dans la ville de N'Djaména. La Société Tchadienne des Eaux (STE) est le seul exploitant principal du service public d'eau potable en milieu urbain. Pour évaluer la durabilité du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména, l'étude a utilisé des analyses multicritères d'aide à la décision : Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) et Technique de Préférence d'Ordre par Similitude à la Solution Idéale (TOPSIS). L'AHP est composée de 6 dimensions d'évaluation : économique, environnementale, sociale, technique, gouvernance et institutionnelle, et comprend un ensemble de 12 critères de jugement et 47 indicateurs selon les réalités locales du pays. La méthode AHP a permis de déterminer les poids des dimensions, des critères et des indicateurs. La méthode TOPSIS a utilisé les poids des critères avec les alternatives retenues pour déterminer la meilleure alternative pour orienter le système d'approvisionnement en eau potable vers la durabilité. Le résultat final montre que la meilleure alternative est la couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména (63,5%). Les résultats de l'AHP ont donné plus d'importance sur les dimensions : institutionnelle (41,9%) et économique (18,4%), les critères : réglementation (21,6%) et organisation (12,2%), et enfin les indicateurs : prix abordable de l'eau potable (73,20%) et intégration des nouvelles technologies numériques (67,70). L'étude recommande le renforcement des infrastructures hydrauliques et de système de gestion pour l'amélioration de l'accessibilité de service d'eau potable à N'Djaména.

Mots-clés : *évaluation, durabilité, approvisionnement en eau potable, N'Djamena, AHP et TOPSIS.*

Abstract

Assessment of the sustainability of the drinking water supply system in the city of N'Djamena, Chad

Access to safe and reliable drinking water remains a pressing issue in Chad, particularly in N'Djamena. The Chadian Water Company (STE) is the sole operator to manage the public urban water supply system. This study evaluates the sustainability of the city's drinking water supply by applying two multi-criteria decision-making tools: the Analytic Hierarchy Process (AHP) and the Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS). The assessment framework developed through AHP comprises six dimensions: economic, environmental, social, technical, governance, and institutional supported by 12 criteria and 47

locally relevant indicators. AHP was used to establish the relative importance of each dimension, criterion, and indicator. These weighted factors were then incorporated into the TOPSIS method to identify the most sustainable strategic option for improving the city's water supply. Results indicate that achieving full citywide coverage of drinking water services is the most favorable alternative (63.5%). The institutional (41.9%) and economic (18.4%) dimensions emerged as the most influential, particularly the regulation (21.6%) and organizational (12.2%) criteria. The indicators with the highest importance were the affordability of potable water (73.20%) and the integration of modern digital technologies (67.70%). The study concludes by recommending targeted investments in water infrastructure and management systems to enhance access to drinking water in N'Djamena.

Keywords : *sustainability assessment, potable water supply, N'Djamena, AHP, TOPSIS.*

1. Introduction

En Afrique, plusieurs réformes ont été faites dans le cadre de l'amélioration du service public d'eau potable notamment la création et la privatisation des sociétés de distribution d'eau potable ; l'organisation des modes de gestion de l'alimentation en eau potable des populations urbaines et rurales ; la décentralisation et le transfert aux communes de la responsabilité en matière de gestion du service de l'eau, révision de code de l'eau et politique sectorielle de l'eau potable [1]. Pour qu'un service d'eau potable soit durable, deux paramètres majeurs entrent en jeu : la qualité de l'eau distribuée répondant aux normes de potabilité [2] et le renouvellement de son capital avec un prix de l'eau acceptable pour les abonnés [3]. Le service public d'eau peut être évalué par des méthodes à savoir : la méthode de 3E (Economique, Environnemental et Ethique) et les indicateurs de performance [2]. D'autres paramètres comme « institutionnel », « technique », « social » et « gouvernance » peuvent être utilisés pour l'évaluation du système d'approvisionnement en eau potable [4, 5]. De par son importance capitale dans le développement économique d'une ville, l'eau entre dans les activités urbaines et fait intervenir plusieurs disciplines [6]. Les responsables des services publics d'eau potable sont confrontés, les plus souvent, aux phénomènes de changement climatique, de croissance démographique ainsi que d'augmentation de la consommation d'eau ou de la demande. Ces éléments conjugués à l'urbanisation, exercent une pression accrue sur le système de gestion de l'eau [7]. De plus, il faut noter que les changements et les variabilités climatiques ont une influence difficilement quantifiable sur les ressources en eau et par conséquent, les productions d'eau potable [8]. En 2025, selon l'Institut National de la Statistique, des Etudes Economiques et Démographiques (INSEED), la population du Tchad est estimée à 19 340 757 habitants et la ville de N'Djaména comptera 2 075 463 habitants contre 951 418 habitants en 2009 [9]. N'Djaména est subdivisée en 10 arrondissements. Son approvisionnement en eau potable est assuré par la Société Tchadienne des Eaux (STE). Cette dernière utilise les eaux souterraines pour l'alimentation en eau potable de la ville de N'Djaména. Le réseau actuel de distribution d'eau potable ne couvre pas la totalité de la ville. La population, en dehors de la zone de couverture de la STE, s'approvisionne des autres sources d'eau alternative (forage, pompe à motricité humaine, borne fontaine). Selon le rapport ECAPP-2023 de l'INSEED et du Programme National de Lutte contre le Paludisme (PNLP), l'approvisionnement des ménages en eau de boisson au Tchad repose d'abord sur les puits munis de pompes ou les forages, qui regroupent environ 39,7% des utilisateurs, suivis des puits non protégés, sollicités par 28,8% d'entre eux. Les points d'eau publics ne représentent que 12,9% des modes d'accès, tandis que les robinets installés dans les cours n'en concernent que 6,8%. En milieu urbain, la source prédominante demeure le robinet domestique situé dans la cour, utilisé par 31,5% des ménages, alors que 27,7% se tournent vers les puits à pompe. En milieu rural, la situation s'inverse nettement : les puits à pompe constituent la ressource majeure, mobilisée par 42,4% des foyers, et les

puits non protégés arrivent en seconde position avec 33% [10]. En 2015, au Tchad, le taux national d'accès à l'eau est de 67,2% en considérant tous les ouvrages recensés et à 61% en ne prenant en compte que ceux qui peuvent être utilisés. Le taux de fonctionnement s'élève à 83% [11]. En 2024, selon le rapport du Ministère de l'Eau et de l'Energie de la même année, le taux national d'accès à l'eau est de 63,5%. Ce taux est projeté à 100% en 2030, selon le Plan National de Développement « Tchad Connexion 2030 », tenu du 10 au 11 novembre 2025 à Abu Dhabi [12]. Pour la ville de N'Djamena, le taux d'accès des ménages en eau de boisson suffisante est de 77,7% [13]. Dans la ville de N'Djaména, en matière d'approvisionnement en eau de boisson, 10,6% des ménages ont accès à un robinet dans leur logement, 48,1% dans la cour ou parcelle, 12,2% s'approvisionnent chez le robinet de leur voisin, 5,5% au robinet public ou borne fontaine et 23% à la pompe à motricité humaine ou forage [10]. A l'instar des autres grandes villes africaines, la ville de N'Djamena, rencontre des problèmes pour répondre aux besoins de sa population en eau potable. La démographie galopante de l'ordre de 65,2% (1993 à 2009) de la population de la ville de N'Djaména fait naître des nécessités et des besoins en eau potable qui est resté un défi majeur à pallier. Ainsi, l'accessibilité de l'eau potable et la continuité de service sont des exigences recherchées en approvisionnement en eau potable de la ville. Augmenter le taux d'accès à l'eau potable revient à augmenter les infrastructures hydrauliques et en adéquation avec l'accroissement de la population et le respect des normes de potabilité. La STE dessert moins du tiers des habitants de N'Djaména [14]. A cela s'ajoute la qualité douteuse de l'eau consommée par les populations des quartiers périphériques des sources d'eau sans traitement préalable [14]. Plusieurs critères sont nécessaires pour assurer la durabilité de service d'eau urbaine par la société de distribution d'eau. Cependant, plusieurs méthodes multicritères d'aide à la décision sont utilisées pour l'évaluation de service d'eau potable. L'AHP est la méthode la plus employée (44,12 %), devant les méthodes combinées (24,51 %). Sa polyvalence en fait la référence des approches multicritères en gestion de l'eau [15]. L'objectif principal de cette étude est d'améliorer les connaissances sur le service d'eau potable de la ville de N'Djamena.

2. Matériel et méthodes

2-1. Zone d'étude

N'Djamena, capitale du Tchad, est située à l'ouest du pays. Elle est subdivisée en 10 arrondissements. Chaque arrondissement est composé des quartiers et carrés (*Figure 1*). Le service public d'eau potable est géré par la Société Tchadienne des Eaux (STE).

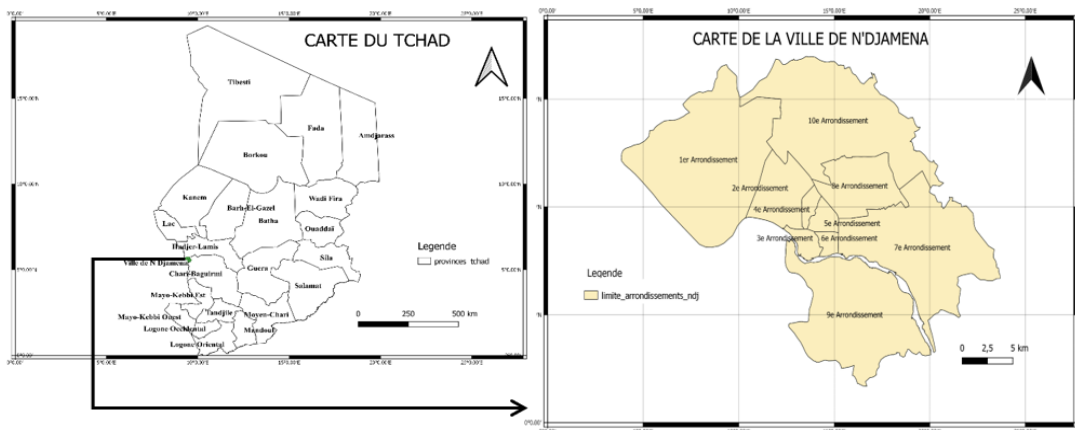


Figure 1 : Carte de la ville de N'Djaména

2-2. Processus de l'Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) et Technique de Préférence d'Ordre par Similitude à la Solution Idéale (TOPSIS)

Pour atteindre l'objectif principal, cette étude applique deux méthodes multicritères d'aide à la décision : Analyse Hiérarchique des Procédés (AHP) et Technique de Préférence d'Ordre par Similitude à la Solution Idéale (TOPSIS). Le modèle est basé sur la méthode AHP pour déterminer les poids pour les ensembles des éléments sélectionnés et la méthode TOPSIS est utilisée pour obtenir le classement final de l'alternative la plus proche de la solution idéale. L'évaluation de la durabilité du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djamena avec l'application des méthodes multicritères d'aide à la décision combinée AHP et TOPSIS s'est déroulée en trois principales phases : Premièrement, la sélection et travail avec des experts dans le domaine de l'approvisionnement en eau potable en fonction de leur disponibilité pour les travaux des analyses multicritères d'aide à la décision et la confection d'un tableau composé des dimensions, critères, indicateurs et des alternatives d'amélioration de service d'eau potable de la ville de N'Djamena. Deuxièmement, l'analyse de la méthode AHP. Cette phase a concerné l'évaluation de tableau des dimensions, critères et indicateurs de service d'eau potable par les experts. Ces évaluations ont permis de déterminer les poids des dimensions, critères et indicateurs. Enfin, troisièmement l'analyse de la méthode TOPSIS. Les résultats obtenus de l'analyse AHP sont pris en compte avec les alternatives retenues pour former la matrice d'entrée pour la méthode TOPSIS. Le résultat final de l'analyse combinée AHP et TOPSIS détermine la meilleure décision pour une gestion durable du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména. Les analyses multicritères d'aide à la décision combinée AHP et TOPSIS ont débuté par la confection d'un tableau des dimensions, critères, indicateurs et détermination des alternatives. Cette démarche a impliqué 9 experts (3 du Ministère de l'Eau et de l'Energie, 3 de la Société Tchadienne des Eaux et 3 Universitaires). Les experts ont travaillé, selon leurs disponibilités et leurs expériences dans le domaine d'approvisionnement en eau potable, sur les tableaux des comparaisons par paires des dimensions, critères et indicateurs. Ainsi, un tableau des dimensions, critères et indicateurs est obtenu (**Tableau 1**). La méthode AHP a permis de déterminer les poids des dimensions, des critères et des indicateurs. La méthode TOPSIS reprend les résultats des poids des critères avec les alternatives pour trouver la meilleure alternative pour orienter le système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djamena vers la durabilité. Cette hiérarchisation pyramidale comporte des dimensions, critères et indicateurs. Chaque niveau de la structure est évalué et comparé par paires deux à deux. Pour cela, l'évaluation a utilisé des tableaux de comparaison par paires des dimensions, critères et des indicateurs. Les dimensions, critères ou indicateurs sont classés sur le tableau par ordre de priorité selon les consultations des experts sur la base de l'échelle de Saaty [16]. Le **Tableau** de Saaty est utilisé pour faire la comparaison par paires de chaque niveau de la hiérarchie. Une moyenne arithmétique est prise sur toutes les notes d'importance attribuées par les experts. Avec l'AHP, l'importance relative de la composante (niveau de la hiérarchie : dimension, critère ou indicateur) i par rapport à la composante j de la matrice est déterminée à l'aide de l'échelle de Saaty, et est affecté à la (i,j) ème position de la matrice de comparaison par paire. Par conséquent, l'inverse du numéro attribué est associé à la (j,i) ème position selon la règle suivante [17].

$$a > 0, a_{ji} = \frac{1}{a_{ij}}, a_{ii}=1 \quad \forall i \quad (1)$$

$>$: strictement supérieur à ; a_{ji} : élément a de $j^{\text{ème}}$ colonne et $i^{\text{ème}}$ ligne de la matrice ; $\forall i$: quel que soit $i^{\text{ème}}$ ligne de la matrice.

Une matrice est obtenue par cette règle afin de déterminer les poids relatifs des dimensions, critères ou indicateurs. Une deuxième phase intervient pour la vérification de la cohérence des résultats des matrices. Cette phase permet de vérifier la cohérence des jugements d'après le calcul du ratio de cohérence (CR). Ce ratio devra être inférieur à 10% pour être acceptable [18]. Si ce ratio est trop élevé, le modèle procède à une réévaluation des comparaisons par paires des dimensions, critères ou indicateurs considérés avant de

déterminer les poids globaux. Les comparaisons par paires ont conduit à l'élaboration d'une matrice de décision. Enfin, les résultats de l'AHP sont utilisés pour faire les analyses TOPSIS : méthode combinée AHP et TOPSIS. Cette méthode a permis de déterminer la meilleure alternative pour une amélioration du service d'eau potable de la ville de N'Djamena.

Tableau 1 : Dimensions, critères et indicateurs de l'évaluation

Dimensions	Critères	Indicateurs
INSTITUTIONNELLE (I)	Règlementation (I.1)	Actualisation de code de l'eau (I.1.1)
		Actualisation du schéma directeur de l'eau et de l'assainissement (I.1.2)
		Réforme de la politique tarifaire (I.1.3)
	Organisation (I.2)	Application des normes internationales pour la qualité de l'eau potable (I.1.4)
		Application d'une nouvelle organisation pour le service d'eau potable (I.2.1)
		L'organisation de la STE après dissociation de la STEE (I.2.2)
GOUVERNANCE (II)	Transparence (II.1)	Intégration des nouvelles technologies numériques (I.2.3)
		Information aux usagers (II.1.1)
		Participation et consultation du public (II.1.2)
		Existence de l'information de la documentation (II.1.3)
	Politique et Planification des services d'eau potable (II.2)	Accès aux informations et aux données (II.1.4)
		Stabilité des politiques des services d'eau potable (II.2.1)
		Stratégie et alignement avec la planification urbaine (II.2.2)
		La planification de l'entreprise (II.2.3)
		La planification des ressources en eau (II.2.4)
		Détection et réparation des fuites (III.1.1)
TECHNIQUE (III)	Performance technique (III.1)	Fiabilité (III.1.2)
		Défaillances (III.1.3)
		Rendements du réseau (III.1.4)
	Modernisation (III.2)	Utilisation des nouvelles technologies (III.2.1)
		Formation des employés (III.2.2)
		Télésurveillance et télégestion (III.2.3)
		Réhabilitation des systèmes d'Approvisionnement en eau potable (III.2.4)
		Coût d'opération et de maintenance (IV.1.1)
ECONOMIQUE (IV)	Recouvrement du coût total (IV.1)	Coût du capital (IV.1.2)
		Coût d'opportunité (IV.1.3)
		Coût de transaction (IV.1.4)
		Coût environnemental (IV.1.5)
		Grand équilibre budgétaire (IV.2.1)
	Autonomie financière (IV.2)	Petit équilibre budgétaire (IV.2.2)
		Taux de subvention de l'Etat pour les investissements (IV.2.3)
		Taux de subvention pour le compte d'exploitation (IV.2.4)
		Taux d'accès aux services (V.1.1)
		Qualité de service d'eau potable (V.1.2)
SOCIALE (V)	Accessibilité aux services (V.1)	Qualité de l'eau distribuée (V.1.3)
		Taux de réclamations (V.1.4)
		Prix abordable de l'eau potable (V.2.1)
		Tarification sociale (V.2.2)
	Abordabilité (V.2)	La volonté à payer (V.2.3)
		Protection contre la pollution (VI.1.1)
		Contrôle de la pollution (VI.1.2)
ENVIRONNEMENTALE (VI)	Impact environnemental (VI.1)	Minimiser la surexploitation de l'eau souterraine (VI.1.3)
		Protection des nappes d'eau (VI.1.4)
		L'utilisation efficace de l'eau (VI.2.1)
	Utilisation des ressources (VI.2)	Lutte contre le gaspillage (VI.2.2)
		La consommation d'énergie (VI.2.3)
		L'utilisation des matériaux (VI.2.4)

Source : Adapté de [15]

3. Résultats et discussion

3-1. Données de la Méthode AHP

Dans le cadre de l'évaluation de la durabilité du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména, les consultations des experts ont fait ressortir un tableau composé des dimensions, critères et indicateurs. Les dimensions de l'évaluation sont classées par ordre d'importance : institutionnelle, gouvernance, technique, économique, sociale et environnementale. De même que les critères et indicateurs de chaque dimension sont priorisés dans le tableau. Le tableau est composé de 6 dimensions, 12 critères et 47 indicateurs. Les experts consultés sont au nombre 9. Selon les réalités locales du pays et les expériences de chaque expert dans le domaine du système d'approvisionnement en eau potable, ils ont étudié chaque dimension avec ses critères correspondants et ont déterminé 6 alternatives. Chaque alternative est obtenue par combinaison des 12 critères. Elle représente une des pistes de solution pour orienter le service public d'eau potable vers la durabilité. Les alternatives retenues sont : renforcement des ouvrages de la production, réhabilitation des tuyauteries de la distribution, renouvellement des compteurs défectueux des branchements particuliers, renforcement de la capacité du personnel, couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména et continuité de service d'approvisionnement en eau potable.

3-1-1. Dimensions de l'évaluation

D'après les résultats des comparaisons par paires des dimensions à l'aide de l'échelle de Saaty, une matrice carrée de 6 est obtenue. Cette matrice est représentée sous forme de tableau (**Tableau 2**). Cette matrice comporte les 6 dimensions en ligne et en colonne. La comparaison de chaque dimension par lui-même est égale à 1. La comparaison de la dimension institutionnelle par rapport à la dimension sociale est égale à 7. Ce qui explique que la dimension institutionnelle est très importante par rapport la dimension sociale. L'inverse est 1/7. Chacun des éléments du tableau 2 est divisé par la somme des éléments de sa colonne correspondante. Ensuite, le poids de chaque dimension est obtenu en faisant la moyenne de chaque ligne (**Tableau 3**). Le poids est sans unité La valeur de poids de dimension détermine son importance par rapport aux autres dimensions de l'évaluation. La dimension institutionnelle (0,419) a plus d'importance sur le plan d'évaluation de la durabilité. La dimension sociale (0,042) est la moins importance. Après l'obtention des poids des dimensions de l'évaluation, une phase de vérification de la cohérence des résultats est nécessaire. Cette vérification se fait à l'aide de calcul de ratio de cohérence (CR) qui doit être inférieur à 10% pour être acceptable [18]. La **Formule** de Ratio de Cohérence (CR) est fonction de l'Indice de Cohérence (CI) et de l'Index Aléatoire (RI) :

$$CR = CI/RI \quad (2)$$

Or l'Indice de Cohérence (CI) est donné par la **Formule** suivante :

$$CI = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) \quad (3)$$

λ_{\max} est la principale valeur propre. Et n est le nombre des éléments pour les dimensions, $n=6$ car l'étude a porté sur 6 dimensions.

Selon le **Tableau 4**, ci-dessous de l'Index Aléatoire RI [16], $RI = 1,25$. La matrice de comparaison des dimensions par paires est multipliée par les poids des dimensions pour obtenir des vecteurs propres. Ensuite, les vecteurs sont multipliés par les poids des dimensions pour obtenir des valeurs propres. Enfin, la moyenne des valeurs propres est appelée la principale valeur propre λ_{\max} . elle intervient dans la détermination de l'Indice de Cohérence (CI). La détermination de la principale valeur propre λ_{\max} est faite en suivant la procédure du **Tableau 5**.

Tableau 2 : Résultats de comparaison par paires des dimensions de l'évaluation

	Institutionnelle	Gouvernance	Technique	Economique	Sociale	Environnementale
Institutionnelle	1	4	3	5	7	3
Gouvernance	1/4	1	2	1/2	4	1/2
Technique	1/3	1/2	1	1/3	3	1/2
Economique	1/5	2	3	1	3	2
Sociale	1/7	1/4	1/3	1/3	1	1/3
Environnementale	1/3	2	2	1/2	3	1

Tableau 3 : Poids des dimensions de l'évaluation

Dimensions	Poids (sans unité)
Institutionnelle (I)	0,419
Gouvernance (II)	0,119
Technique (III)	0,090
Economique (IV)	0,184
Sociale (V)	0,042
Environnementale (VI)	0,146

Tableau 4 : Index Aléatoire (RI)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
RI	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,52	1,54	1,56	1,58	1,59

n : nombre des éléments pour les dimensions, critères ou indicateurs de l'évaluation ; *RI* : Index Aléatoire.

Tableau 5 : Processus de détermination de la principale valeur propre λ_{max} des dimensions de l'évaluation

<i>Matrice de comparaison par paires des dimensions</i>		<i>Poids des dimensions</i>		<i>Poids des dimensions</i>		λ_{max}																																																															
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>1,000</td><td>4,000</td><td>3,000</td><td>5,000</td><td>7,000</td><td>3,000</td></tr> <tr><td>0,250</td><td>1,000</td><td>2,000</td><td>0,500</td><td>4,000</td><td>0,500</td></tr> <tr><td>0,333</td><td>0,500</td><td>1,000</td><td>0,333</td><td>3,000</td><td>0,500</td></tr> <tr><td>0,200</td><td>2,000</td><td>3,000</td><td>1,000</td><td>3,000</td><td>2,000</td></tr> <tr><td>0,143</td><td>0,250</td><td>0,333</td><td>0,333</td><td>1,000</td><td>0,333</td></tr> <tr><td>0,333</td><td>2,000</td><td>2,000</td><td>0,500</td><td>3,000</td><td>1,000</td></tr> </table>	1,000	4,000	3,000	5,000	7,000	3,000	0,250	1,000	2,000	0,500	4,000	0,500	0,333	0,500	1,000	0,333	3,000	0,500	0,200	2,000	3,000	1,000	3,000	2,000	0,143	0,250	0,333	0,333	1,000	0,333	0,333	2,000	2,000	0,500	3,000	1,000	x	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0,419</td></tr> <tr><td>0,119</td></tr> <tr><td>0,090</td></tr> <tr><td>0,184</td></tr> <tr><td>0,042</td></tr> <tr><td>0,146</td></tr> </table>	0,419	0,119	0,090	0,184	0,042	0,146	=	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>2,820</td></tr> <tr><td>0,739</td></tr> <tr><td>0,551</td></tr> <tr><td>1,195</td></tr> <tr><td>0,272</td></tr> <tr><td>0,923</td></tr> </table>	2,820	0,739	0,551	1,195	0,272	0,923	/	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>0,419</td></tr> <tr><td>0,119</td></tr> <tr><td>0,090</td></tr> <tr><td>0,184</td></tr> <tr><td>0,042</td></tr> <tr><td>0,146</td></tr> </table>	0,419	0,119	0,090	0,184	0,042	0,146	=	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr><td>6,734</td></tr> <tr><td>6,213</td></tr> <tr><td>6,103</td></tr> <tr><td>6,493</td></tr> <tr><td>6,404</td></tr> <tr><td>6,339</td></tr> </table>	6,734	6,213	6,103	6,493	6,404	6,339	6,381
1,000	4,000	3,000	5,000	7,000	3,000																																																																
0,250	1,000	2,000	0,500	4,000	0,500																																																																
0,333	0,500	1,000	0,333	3,000	0,500																																																																
0,200	2,000	3,000	1,000	3,000	2,000																																																																
0,143	0,250	0,333	0,333	1,000	0,333																																																																
0,333	2,000	2,000	0,500	3,000	1,000																																																																
0,419																																																																					
0,119																																																																					
0,090																																																																					
0,184																																																																					
0,042																																																																					
0,146																																																																					
2,820																																																																					
0,739																																																																					
0,551																																																																					
1,195																																																																					
0,272																																																																					
0,923																																																																					
0,419																																																																					
0,119																																																																					
0,090																																																																					
0,184																																																																					
0,042																																																																					
0,146																																																																					
6,734																																																																					
6,213																																																																					
6,103																																																																					
6,493																																																																					
6,404																																																																					
6,339																																																																					

$\lambda_{max} = 6,381$
Ainsi, on obtient le ratio de cohérence $CR = 0,061 < 0,10$

Comme $CR = 0,061 < 0,10$, la cohérence des comparaisons par paires des experts sur les dimensions est acceptable.

3-1-2. Critères de l'évaluation

D'après l'AHP du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djamena, chaque dimension d'évaluation a fait ressortir deux critères (sous-dimensions). Les consultations des experts sur les évaluations des critères de durabilité ont donné le **Tableau 5**. Comme les dimensions, les 12 critères ont subi des comparaisons par paires pour obtenir une matrice carrée de 12. Les 12 lignes et 12 colonnes sont les critères. Les résultats de cette matrice indiquent que le critère réglementation est très important par rapport au critère utilisation des ressources (VI.2). Cette comparaison est la plus grande de cette matrice.

Ensuite, les poids des critères sont obtenus après les calculs suivants : (i) chacun des éléments de la matrice est divisée par la somme des éléments de sa colonne correspondante et (ii) le poids de chaque critère est obtenu en faisant la moyenne de chaque ligne. Les experts ont donné plus d'importance aux critères d'évaluation : réglementation (21,6%) et organisation (12,2%) et moins d'importance à l'impact environnemental (2,4%) et l'utilisation des ressources (3,2%). Les résultats des poids des critères sont consignés dans le **Tableau 6**. Enfin, les résultats sont vérifiés par la cohérence des jugements des experts sur les évaluations des critères. Cette cohérence s'explique par une note inférieure à 10% du ratio de cohérence. Ainsi, d'après les équations (2), (3) et le **Tableau 4** de l'Index Aléatoire (RI) citées ci-haut, les principaux résultats obtenus sont les suivants : la principale valeur propre $\lambda_{\max} = 13,5$ et le ratio de cohérence $CR = 0,089 < 0,10$. La matrice de comparaison des critères par paires est multipliée par les poids des critères pour obtenir des vecteurs propres. Ensuite, les vecteurs sont multipliés par les poids des critères pour obtenir des valeurs propres. Enfin, la moyenne des valeurs propres est appelée la principale valeur propre λ_{\max} . elle intervient dans la détermination de l'Indice de Cohérence (CI).

Tableau 6 : Résultats de comparaison par paires des critères de l'évaluation

	I.1	I.2	II.1	II.2	III.1	III.2	IV.1	IV.2	V.1	V.2	VI.1	VI.2
Règlementation (I.1)	1	3	2	3	5	3	3	4	6	2	7	8
Organisation (I.2)	1/3	1	2	2	2	2	2	2	5	2	3	3
Transparence (II.1)	1/2	1/2	1	3	4	5	3	1	2	1/2	6	3
Politique et Planification des services d'eau potable (II.2)	1/3	1/2	1/3	1	3	1	2	1	5	1/3	3	2
Performance technique (III.1)	1/5	1/2	1/4	1/3	1	1	1	2	1	1/3	1	1
Modernisation (III.2)	1/3	1/2	1/5	1	1	1	1/2	1/3	1/2	1/3	2	2
Recouvrement du coût total (IV.1)	1/3	1/2	1/3	1/2	1	2	1	1/4	2	2	4	1
Autonomie financière (IV.2)	1/4	1/2	1	1	1/2	3	4	1	2	2	4	2
Accessibilité aux services (V.1)	1/6	1/5	1/2	1/5	1	2	1/2	1/2	1	1/5	3	3
Abordabilité (V.2)	1/2	1/2	2	3	3	3	1/2	1/2	5	1	6	3
Impact environnemental (VI.1)	1/7	1/3	1/6	1/3	1	1/2	1/4	1/4	1/3	1/6	1	1
Utilisation des ressources (VI.2)	1/8	1/3	1/3	1/2	1	1/2	1	1/2	1/3	1/3	1	1

Tableau 7 : Poids des critères d'évaluation

Critère	I.1	I.2	II.1	II.2	III.1	III.2	IV.1	IV.2	V.1	V.2	VI.1	VI.2
Poids	0,216	0,122	0,120	0,077	0,047	0,043	0,065	0,094	0,045	0,115	0,024	0,032

Tableau 8 : Processus de détermination de la principale valeur propre λ_{max} des critères de l'évaluation

Matrice de comparaison par paires des critères												Poids des critères			Poids des critères			λ_{max}	
1,000	3,000	2,000	3,000	5,000	3,000	3,000	4,000	6,000	2,000	7,000	8,000	0,216	2,913	0,216	13,468	13,500			
0,333	1,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	5,000	2,000	3,000	3,000	0,122	1,709	0,122	13,998				
0,500	0,500	1,000	3,000	4,000	5,000	3,000	1,000	2,000	0,500	6,000	3,000	0,120	1,600	0,120	13,360				
0,333	0,500	0,333	1,000	3,000	1,000	2,000	1,000	5,000	0,333	3,000	2,000	0,077	1,057	0,077	13,769				
0,200	0,500	0,250	0,333	1,000	1,000	1,000	2,000	1,000	0,333	1,000	1,000	0,047	0,642	0,047	13,727				
0,333	0,500	0,200	1,000	1,000	1,000	0,500	0,333	0,500	0,333	2,000	2,000	0,043	0,561	0,043	12,970				
0,333	0,500	0,333	0,500	1,000	2,000	1,000	0,250	2,000	2,000	4,000	1,000	0,065	0,882	0,065	13,628				
0,250	0,500	1,000	1,000	0,500	3,000	4,000	1,000	2,000	2,000	4,000	2,000	0,094	1,299	0,094	13,863				
0,167	0,200	0,500	0,200	1,000	2,000	0,500	0,500	1,000	0,200	3,000	3,000	0,045	0,585	0,045	13,019				
0,500	0,500	2,000	3,000	3,000	3,000	0,500	0,500	5,000	1,000	6,000	3,000	0,115	1,570	0,115	13,622				
0,143	0,333	0,167	0,333	1,000	0,500	0,250	0,250	0,333	0,167	1,000	1,000	0,024	0,316	0,024	13,052				
0,125	0,333	0,333	0,500	1,000	0,500	1,000	0,500	0,333	0,333	1,000	1,000	0,032	0,436	0,032	13,526				

$\lambda_{max} = 13,500$
Ainsi, on obtient le ratio de cohérence $CR = 0,089 < 0,10$

Comme $CR = 0,089 < 0,10$, la cohérence des comparaisons par paires des experts sur les critères est acceptable.

3-1-3. Indicateurs de l'évaluation

Sur chaque critère, les experts ont identifié des indicateurs correspondants. Ces indicateurs servent à clarifier d'avantage les critères d'évaluation retenus. Les indicateurs ont fait l'objet d'analyse multicritère pour déterminer leurs poids respectifs. Le poids d'un indicateur représente son importance relative par rapport aux autres indicateurs pour le même critère considéré. Les résultats des comparaisons par paires des indicateurs identifiés au sein d'un critère se présentent sous formes des matrices. Ces matrices ont fait l'objet de vérification de cohérence des jugements en obtenant un ratio de cohérence inférieure à 10%. Les 12 matrices des indicateurs avec leurs valeurs propres et ratio de cohérence se présentent comme suit :

- Règlementation(I. 1) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 3 \\ 1 & 1 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{max} = 4,155$ et $CR = 0,058 < 10\%$

- Organisation(I. 2) $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1/5 \\ 1/2 & 1 & 1/4 \\ 5 & 4 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{max} = 3,096$ et $CR = 0,092 < 10\%$

- Transparence(II. 1) $\begin{pmatrix} 1 & 4 & 4 & 5 \\ 1/4 & 1 & 2 & 2 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1/2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{max} = 4,047$ et $CR = 0,018 < 10\%$

- Politique et planification des services d'eaupotable(II. 2) $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 4 & 1 \\ 1/2 & 1 & 2 & 1/4 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \end{pmatrix}$

$\lambda_{max} = 4,185$ et $CR = 0,069 < 10\%$

- Performance technique(III. 1) $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 2 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}= 4,250$ et $CR= 0,094 < 10\%$
- Modernisation(III. 2) $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 3 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 \\ 1/3 & 1 & 1 & 5 \\ 1/3 & 1/2 & 1/5 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}= 4,244$ et $CR= 0,091 < 10\%$
- Récouvrement du coût total(IV. 1) $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 2 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 2 & 3 \\ 1/2 & 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1 & 1/2 & 1/3 & 1 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}=5,385$ et $CR=0,087 < 10\%$
- Autonomie financière(IV. 2) $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1 & 1/2 & 2 \\ 1 & 2 & 1 & 2 \\ 1 & 1/2 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}= 4,187$ et $CR= 0,070 < 10\%$
- Accessibilité aux services(V. 1) $\begin{pmatrix} 1 & 6 & 4 & 5 \\ 1/6 & 1 & 2 & 3 \\ 1/4 & 1/2 & 1 & 2 \\ 1/5 & 1/3 & 1/2 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}=4,205$ et $CR= 0,077 < 10\%$
- Abordabilité(V. 2) $\begin{pmatrix} 1 & 6 & 5 \\ 1/6 & 1 & 1 \\ 1/5 & 1 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}= 3,004$ et $CR= 0,004 < 10\%$
- Impact environnemental(VI. 1) $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1/2 & 1/4 \\ 1/2 & 2 & 1 & 1/2 \\ 1 & 4 & 2 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}=4,010$ et $CR= 0,004 < 10\%$
- Utilisation des ressources(VI. 2) $\begin{pmatrix} 1 & 3 & 2 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 2 \\ 1/2 & 1 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1/2 & 1 & 1 \end{pmatrix} \lambda_{\max}= 4,082$ et $CR= 0,031 < 10\%$

Les résultats des indicateurs par la méthode AHP dans le **Tableau 7** donnent plus d'importance aux indicateurs : prix abordable de l'eau potable (73,20%) et intégration des nouvelles technologies numériques (67,70%). Ces résultats montrent le faible pouvoir d'achat des consommateurs d'eau. Cela implique la part de dépense des abonnés pour la facture d'eau impacte le panier journalier du ménage. Ensuite, l'amélioration du service d'eau passe par l'application des nouvelles technologies pour prendre en compte les défis techniques de l'avenir et permettre d'orienter le système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména vers la durabilité.

Tableau 9 : Récapitulatif des résultats des poids des indicateurs de l'évaluation

N°	INDICATEURS	POIDS	%
1	Actualisation de code de l'eau	0,242	24,2%
2	Actualisation du schéma directeur de l'eau et de l'assainissement	0,242	24,2%
3	Réforme de la politique tarifaire	0,325	32,5%
4	Application des normes internationales pour la qualité de l'eau potable	0,192	19,2%
5	Application d'une nouvelle organisation pour le service d'eau potable	0,192	19,2%
6	L'organisation de la STE après dissociation de la STEE	0,131	13,1%
7	Intégration des nouvelles technologies numériques	0,677	67,7%
8	Information aux usagers	0,578	57,8%
9	Participation et consultation du public	0,196	19,6%
10	Existence de l'information de la documentation	0,117	11,7%
11	Accès aux informations et aux données	0,109	10,9%
12	Stabilité des politiques des services d'eau potable	0,36	36,0%
13	Stratégie et alignement avec la planification urbaine	0,157	15,7%
14	La planification de l'entreprise	0,113	11,3%
15	La planification des ressources en eau	0,371	37,1%
16	Détection et réparation des fuites	0,347	34,7%
17	Fiabilité	0,236	23,6%
18	Défaillances	0,236	23,6%
19	Rendements du réseau	0,181	18,1%
20	Utilisation des nouvelles technologies	0,439	43,9%
21	Formation des employés	0,207	20,7%
22	Télésurveillance et télégestion	0,256	25,6%
23	Réhabilitation des systèmes d'Approvisionnement en eau potable	0,099	9,9%
24	Coût d'opération et de maintenance	0,318	31,8%
25	Coût du capital	0,195	19,5%
26	Coût d'opportunité	0,23	23,0%
27	Coût de transaction	0,117	11,7%
28	Coût environnemental	0,14	14,0%
29	Grand équilibre budgétaire	0,287	28,7%
30	Petit équilibre budgétaire	0,206	20,6%
31	Taux de subvention de l'Etat pour les investissements	0,329	32,9%
32	Taux de subvention pour le compte d'exploitation	0,177	17,7%
33	Taux d'accès aux services	0,593	59,3%
34	Qualité de service d'eau potable	0,193	19,3%
35	Qualité de l'eau distribuée	0,133	13,3%
36	Taux de réclamations	0,081	8,1%
37	Prix abordable de l'eau potable	0,732	73,2%
38	Tarifcation sociale	0,13	13,0%
39	La volonté à payer	0,138	13,8%
40	Protection contre la pollution	0,345	34,5%
41	Contrôle de la pollution	0,1	10,0%
42	Minimiser la surexploitation de l'eau souterraine	0,185	18,5%
43	Protection des nappes d'eau	0,37	37,0%
44	L'utilisation efficace de l'eau	0,459	45,9%
45	Lutte contre le gaspillage	0,205	20,5%
46	La consommation d'énergie	0,189	18,9%
47	L'utilisation des matériaux	0,147	14,7%

3-2. Données de la Méthode combinée : AHP et TOPSIS

Cette étape commence par une matrice composée des 6 alternatives (**Tableau 8**) retenues par les experts et les 12 critères affectés chacun de leur poids respectif. La méthode permet de déterminer la meilleure alternative qui devra avoir la distance la plus courte ou distance euclidienne de la solution idéale. C'est une technique de préférence ordonnée par similarité avec la solution idéale (TOPSIS). Les combinaisons des critères d'évaluation par les experts ont donné un résultat de 6 alternatives. Chaque alternative représente une piste de solution pour l'amélioration du système d'approvisionnement vers la durabilité. La combinaison des méthodes AHP et TOPSIS s'explique par la détermination des poids des dimensions, critères et indicateurs par la méthode AHP, et la détermination de la meilleure alternative par la méthode TOPSIS. Les 6 alternatives retenues servent à établir une matrice avec les 12 critères sélectionnés au départ dans l'AHP. La matrice est composée de 6 lignes et 12 colonnes. Les lignes et les colonnes de la matrice sont respectivement les alternatives et les critères. La comparaison par paires des experts a donné les résultats le **Tableau 9**. La matrice obtenue est normalisée par l'**Équation 4**:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^n X_{ij}^2}} \quad (4)$$

avec, $n=6$, le nombre des alternatives.

$$\begin{pmatrix} 0,475 & 0,442 & 0,225 & 0,392 & 0,333 & 0,793 & 0,432 & 0,293 & 0,098 & 0,105 & 0,200 & 0,447 \\ 0,475 & 0,442 & 0,225 & 0,392 & 0,667 & 0,226 & 0,432 & 0,439 & 0,293 & 0,210 & 0,200 & 0,224 \\ 0,407 & 0,354 & 0,338 & 0,392 & 0,333 & 0,113 & 0,346 & 0,366 & 0,488 & 0,524 & 0,600 & 0,671 \\ 0,204 & 0,088 & 0,225 & 0,392 & 0,333 & 0,226 & 0,346 & 0,512 & 0,293 & 0,314 & 0,400 & 0,224 \\ 0,475 & 0,530 & 0,788 & 0,588 & 0,333 & 0,453 & 0,518 & 0,439 & 0,488 & 0,629 & 0,200 & 0,224 \\ 0,339 & 0,442 & 0,338 & 0,196 & 0,333 & 0,226 & 0,346 & 0,366 & 0,586 & 0,419 & 0,600 & 0,447 \end{pmatrix}$$

Le calcul des poids V_{ij} de la matrice normalisée est obtenu par multiplication de chaque élément de la colonne de la matrice normalisée par le poids de son critère considéré W_j . Ainsi on obtient la matrice suivante :

$$V_{ij} = \bar{X}_{ij} * W_j \quad (5)$$

$$\begin{pmatrix} 0,1026 & 0,0539 & 0,0270 & 0,0302 & 0,0157 & 0,0341 & 0,0281 & 0,0275 & 0,0044 & 0,0121 & 0,0048 & 0,0143 \\ 0,1026 & 0,0539 & 0,0270 & 0,0302 & 0,0313 & 0,0097 & 0,0281 & 0,0412 & 0,0132 & 0,0241 & 0,0048 & 0,0072 \\ 0,0880 & 0,0431 & 0,0405 & 0,0302 & 0,0157 & 0,0049 & 0,0225 & 0,0344 & 0,0220 & 0,0603 & 0,0144 & 0,0215 \\ 0,0440 & 0,0108 & 0,0270 & 0,0302 & 0,0157 & 0,0097 & 0,0225 & 0,0481 & 0,0132 & 0,0362 & 0,0096 & 0,0072 \\ 0,1026 & 0,0647 & 5,0945 & 0,0453 & 0,0157 & 0,0195 & 0,0337 & 0,0412 & 0,0220 & 0,0723 & 0,0048 & 0,0072 \\ 0,0733 & 0,0539 & 0,0405 & 0,0151 & 0,0157 & 0,0097 & 0,0225 & 0,0344 & 0,0263 & 0,0482 & 0,0144 & 0,0143 \end{pmatrix}$$

Les meilleures valeurs idéales (V^+) et les pires valeurs idéales (V^-) sont déterminées respectivement en identifiant les maximums et les minimums de chaque colonne, sauf l'inverse pour la 1^{ère} colonne (équation 6). Ces valeurs permettent de connaître les solutions idéales positives ou négatives (**Tableau 10**).

$$\begin{aligned} V^+ &= \text{Max}(V_j) & \text{Sauf pour } j=1 & & V^+ &= \text{Min}(V_j) \\ V^- &= \text{Min}(V_j) & \text{Sauf pour } j=1 & & V^- &= \text{Max}(V_j) \end{aligned} \quad (6)$$

Les distances euclidiennes sont les distances entre chaque alternative avec les solutions idéales positive (S^+) et négative (S^-) (**Tableau 11**). Elles sont calculées par les **Équations 7**.

$$\begin{aligned} S_i^+ &= \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^+)^2 \right]^{0,5} \\ S_i^- &= \left[\sum_{j=1}^m (V_{ij} - V_j^-)^2 \right]^{0,5} \end{aligned} \quad (7)$$

Les distances euclidiennes des meilleures et pires valeurs permettent de classer les alternatives par leurs scores de performance (*Tableau 12*) par *l'Équation 8*.

$$P_i = \frac{S_i^-}{S_i^+ + S_i^-} \quad (8)$$

En définitive, la méthode de la Technique pour la Préférence d'Ordre par Similitude à la Solution Idéale (TOPSIS) a utilisé 6 alternatives et 12 critères déterminés par la méthode AHP. Cette méthode combinée des 2 méthodes multicritères d'aide à la décision AHP et TOPSIS a donné les résultats suivants : (i) une couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména : 63,5% ; (ii) une continuité de service d'approvisionnement en eau potable : 46,3% et un renouvellement des compteurs défectueux des branchements particuliers : 44,7 %. L'évaluation de la durabilité du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména en appliquant la méthode multicritère d'aide à la décision combinée AHP et TOPSIS a donné le résultat final que la meilleure alternative est la couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména (63,5%). Ceci implique un travail en amont très important en termes de renforcement d'infrastructures hydrauliques et de gestion pour l'amélioration de l'accessibilité du service d'eau potable aux ménages N'Djaménois. Ces résultats reflètent ceux des études effectuées par Boukhari Sofiane en 2018 portant sur l'évaluation de la durabilité des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie. Les meilleures solutions pour améliorer la gestion des services d'eau potable et assainissement en Algérie sont (i) la réforme de la tarification de l'eau, (ii) la réduction des pertes en eau et (iii) l'amélioration de la qualité de l'eau distribuée (tableau 13). De même que les principaux résultats sur la méthode AHP en Algérie sur les services d'eau potable et d'assainissement sont les dimensions : économique (38,3%) et technique (26,1%), les critères : l'autonomie financière (18,7%) et la performance technique (18,4%), et enfin les indicateurs : le coût de l'exploitation et de la maintenance et l'équilibre budgétaire [15]. Nos résultats coïncident avec ceux de l'Algérie sur la dimension économique. En ce qui concerne les critères, les experts ont donné plus d'importance sur la réglementation et l'organisation.

Ces deux critères relèvent de la dimension institutionnelle. Cette dimension traite les questions de l'actualisation des documents de référence sur l'eau potable (Code de l'eau, Schéma Directeur de l'Eau et de l'Assainissement) et de la réforme de la politique tarifaire pour avoir plus d'abonnés et améliorer davantage la qualité de service à long terme. Les indicateurs : prix abordable de l'eau potable (73,20%) et intégration des nouvelles technologies numériques (67,70%) sont les plus importants en matière d'amélioration du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména vers la durabilité. D'après les travaux de Zhalmurziyeva et al. (2021), effectuée sur la ville d'afin d'améliorer le niveau de durabilité du système d'eau de Nur-Sultan (Kazakhstan). Cette étude a utilisé 28 indicateurs de durabilité sur un ensemble des 4 dimensions à savoir : institutionnelle, technologique, économique, sociale et environnementale. Leurs résultats ont donné des indicateurs plus importants parmi lesquels le prix abordable et la disponibilité de compteurs d'eau [19]. Ces résultats corroborent avec notre étude sur le prix abordable de l'eau potable comme indicateur le plus important (73,20%) d'après l'analyse AHP, et le renouvellement des compteurs défectueux des branchements particuliers comme 3^{ème} meilleure alternative d'après notre résultat de l'analyse TOPSIS avec un score de performance de 44,7 %. Les travaux de BOUNSIAR Malek et KEDOUNI Anais (2025) ont appliqué la combinaison des 2 méthodes AHP et TOPSIS pour la priorisation des travaux de réhabilitation des conduites d'approvisionnement en eau potable de la ville de Tizi-Rached de la wilaya de Tizi-Ouzou en Algérie. Cette étude a travaillé sur un échantillon de 11 conduites représentatives du réseau d'approvisionnement en eau potable pour évaluer les critères pertinents pour classer les conduites du réseau selon leur urgence de réhabilitation [20]. Ces résultats mettent en évidence l'importance de la réhabilitation des systèmes d'approvisionnement en eau potable notamment en modernisant les infrastructures hydrauliques, en ciblant prioritairement la réduction des

fuites et l'amélioration des performances globales des réseaux d'alimentation en eau potable. L'application de la méthode AHP-TOPSIS dans le service d'eau potable présente certaines limites : (i) les conclusions tirées de la comparaison par paires étant fondées sur des appréciations subjectives puisqu'elles peuvent conduire à des incohérences dans les évaluations ; (ii) le grand nombre de critères ou d'alternatives d'évaluation rend les données complexes ou difficiles à gérer et l'hypothèse d'indépendance des critères ne reflète pas toujours la réalité [21].

Tableau 10 : Alternatives retenues par les experts

Alternatives retenues	
Renforcement des ouvrages de la production	A ₁
Réhabilitation des tuyauteries de la distribution	A ₂
Renouvellement des compteurs défectueux des branchements particuliers	A ₃
Renforcement de la capacité du personnel	A ₄
Couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména	A ₅
Continuité de service d'approvisionnement en eau potable	A ₆

Tableau 11 : Résultats de comparaison par paires des alternatives et critères de l'évaluation

Critère	I.1	I.2	II.1	II.2	III.1	III.2	IV.1	IV.2	V.1	V.2	VI.1	VI.2
Poids	0,216	0,122	0,120	0,077	0,047	0,043	0,065	0,094	0,045	0,115	0,024	0,032
A ₁	7	5	2	2	1	7	5	4	1	1	1	2
A ₂	7	5	2	2	2	2	5	6	3	2	1	1
A ₃	6	4	3	2	1	1	4	5	5	5	3	3
A ₄	3	1	2	2	1	2	4	7	3	3	2	1
A ₅	7	6	7	3	1	4	6	6	5	6	1	1
A ₆	5	5	3	1	1	2	4	5	6	4	3	2

Tableau 12 : Les meilleures et les pires valeurs idéales

V ⁺	0,0440	0,0647	0,0945	0,0453	0,0313	0,0341	0,0337	0,0481	0,0263	0,0723	0,0144	0,0215
V ⁻	0,1026	0,0108	0,0270	0,0151	0,0157	0,0049	0,0225	0,0275	0,0044	0,0121	0,0048	0,0072

Tableau 13 : Distances euclidiennes des meilleures valeurs idéales (S⁺) et des pires valeurs idéales (S⁻)

Alternatives	S ⁺	S ⁻
A ₁	0,115	0,055
A ₂	0,109	0,053
A ₃	0,084	0,068
A ₄	0,102	0,069
A ₅	0,065	0,113
A ₆	0,081	0,070

Tableau 14 : Scores de performance des alternatives

Alternatives	P _i	%	Rang
A ₁	0,323	32,3	6
A ₂	0,328	33,8	5
A ₃	0,447	44,7	3
A ₄	0,405	40,5	4
A ₅	0,635	63,5	1
A ₆	0,463	46,3	2

Tableau 15 : Comparaison des scores de performance des meilleures alternatives obtenues du Tchad et d'Algérie

ALGERIE			TCHAD		
Rang	Meilleures alternatives	Scores de performance	Rang	Meilleures alternatives	Scores de performance
1 ^{er}	La réforme de la tarification de l'eau	0,8564	1 ^{er}	La couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména	0,635
2 ^{ème}	La réduction des pertes en eau	0,8161	2 ^{ème}	Continuité de service d'approvisionnement en eau potable	0,463
3 ^{ème}	L'amélioration de la qualité de l'eau distribuée	0,5628	3 ^{ème}	Renouvellement des compteurs défectueux des branchements particuliers	0,447

4. Conclusion

La meilleure alternative pour l'évaluation de la durabilité du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména par la méthode multicritère d'aide à la décision combinée AHP et TOPSIS est la couverture totale de la desserte en eau de la ville de N'Djaména. Cette étude peut servir de document de référence scientifique pour les chercheurs et les gestionnaires de la STE pour l'amélioration du système d'approvisionnement en eau potable de la ville de N'Djaména vers la durabilité. Le travail recommande le renforcement des infrastructures hydrauliques et de système de gestion pour l'amélioration de l'accessibilité de service d'eau potable à N'Djaména. En perspective, les évaluations des responsables municipales urbaines des 10 arrondissements doivent être prises en compte pour améliorer la qualité du travail.

Références

- [1] - T. A. MAIGA, La gestion du Service Public de l'Eau (SPE) dans les villes moyennes, Programme Eau Assainissement, Banque Mondiale, Vol. 16, (2015)
- [2] - R. A. ZODEKON et L. ODOULAMI, Genre et gestion des risques environnementaux liés à la durabilité des services publics d'eau potable dans la commune de Dassa-zoume au Bénin, *Int. J. Progress. Sci. Technol. IJPSAT*, 33 (1) (2022) 569 - 584 p.
- [3] - A. BROCHET et C. WITTNER, Evaluer l'impact d'un changement d'échelle sur la durabilité des services d'eau : la méthode ABAFAD, *Vertigo*, 21 (2) (2021) 1 - 40 p.
- [4] - A. MOKSSIT, Contribution à la gestion de la distribution non continue de l'eau potable : comprendre le fonctionnement sociotechnique de l'intermittence des services d'approvisionnement en eau pour optimiser l'intervention de l'opérateur du réseau, Thèse de Doctorat, Ecole des Ponts ParisTech, (2023)
- [5] - L. DELL'AQUILA, Enjeux globaux et trajectoires socio-techniques de l'eau potable : le cas des services associatifs, Thèse de doctorat, Université Rennes 2, (2024)
- [6] - H. ZAAFRANI, Gouvernance des Biens Communs : Cas des Ressources en Eau Dans la Ville de Marrakech : Entre L'insuffisance des Ressources et L'augmentation de la Demande, *Rev. Paysages Géographiques*, Vol. 1, N° 7 (2024) 210 - 222 p.
- [7] - C. J. VAN LEEUWEN, J. FRIJNS, A. VAN WEZEL et F. H. VAN DE VEN, City blueprints: 24 indicators to assess the sustainability of the urban water cycle », *Water Resour. Manag.*, Vol. 26, N°8 (2012) 2177 - 2197 p.
- [8] - E. N. DOMGUIA, Impact potentiel du changement climatique sur le coût de l'offre en eau potable : une étude de cas dans la ville de Douala au Cameroun, Thèse de doctorat, Université de Dschang (Cameroun), (2016)

- [9] - INSEED, INSEED, Projections Démographiques 2009-2050, Tome 2 : Niveau régional. Institut National de la Statistique, des Etudes Economiques et Démographiques, (décembre 2014)
- [10] - INSEED, Rapport ECAPP-2023, Institut National de la Statistique, des Etudes Economiques et Démographiques, (2023) 106 p.
- [11] - Ministère de l'Elevage et de l'Hydraulique, Plan d'Investissement Régional Eau et Assainissement 2025-2030, (avr. 2016) 103 p.
- [12] - Ministère des Finances, du Budget, de l'Economie, du Plan et de la Coopération Internationale, Tchad connexion 2030, Plan National de Développement, Dubaï, (Nov. 2025) 81 p.
- [13] - INSEED et UNICEF, MICS6-Tchad, 2019, Rapport final, TCHAD, (2021) 957 p.
- [14] - M. ROBERT, N'Djaména : Problématique de l'accès à l'eau des quartiers périphériques. *Annales de l'Université de Moundou, Série A - Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines*, Vol. 5, (2) (Jan. 2019) ISSN 2304 - 1056
- [15] - B. SOFIANE, La gestion durable des services d'eau potable et d'assainissement en Algérie, Thèse de doctorat, Université de Sfax, (2018) 241 p.
- [16] - T. L. SAATY, How to make a decision: the analytic hierarchy process, *Eur. J. Oper. Res.*, Vol. 48, N°1 (1990) 9 - 26 p.
- [17] - C.-W. CHANG, C.-R. WU, C.-T. LIN et H.-C. CHEN, An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine, *Comput. Ind. Eng.*, Vol. 52, N°2 (2007) 296 - 307 p.
- [18] - D. PRAMANIK, A. HALDAR, S. C. MONDAL, S. K. NASKAR et A. RAY, Resilient supplier selection using AHP-TOPSIS-QFD under a fuzzy environment, *Int. J. Manag. Sci. Eng. Manag.*, Vol. 12, N°1 (2017) 45 - 54 p.
- [19] - K. ZHALMURZIYEVA, S. TOKBOLAT, S. DURDYEV, M. Y. MUSTAFA et F. KARACA, Assessment of sustainability indicators for urban water infrastructure in a developing country, *Int. J. Build. Pathol. Adapt.*, Vol. 42, N°3 (2021) 337 - 351 p.
- [20] - B. MALEK et K. ANAIS, Priorisation des travaux de réhabilitation des réseaux d'AEP en utilisant AHP-TOPSIS : Cas de Tizi-Rached (Wilaya de Tizi-Ouzou), Mémoire de Master, Université Mouloud MAMMERIE (Algérie), (2025)
- [21] - I. ZAONGO, Evaluation de la performance des systèmes éducatifs des pays de l'UEMOA par la méthode AHP, Ecole Nationale de la Statistique et de l'Analyse Economique Pierre Ndiaye, Sénégal, 20 p.