

**Etude de procédé de traitement d'eau pour la  
consommation humaine**  
au Centre de Secours d'Urgence (CSU) de N'zianouan

**RAPPORT DÉFINITIF**

N/Réf. : 74413.20131111

Auteur : KOUADIO Kouassi Adolphe, ingénieur en chimie industrielle  
tél. (+225)01053615 ; (+225)22436223  
fax : (+225)22433494  
e-mail : kouadioadolphe@yahoo.fr.

Nombre de pages : 16 (y compris celle-ci).

Maître d'ouvrage : Fondation PETROCI  
Maître d'oeuvre : ONEP

MOTS-CLÉ:

Caractère organoleptique - Élément gênant - Élément toxique - Dureté - Filière de traitement spécifique - Démanganisation – Déferrisation – Osmose inverse – Split Treatment - Mitigeage - Devis.

Fait à Abidjan, le 11 November 2013.

Le Consultant

# SOMMAIRE

I.	CONTEXTE	4
II.	ETAT DES LIEUX	4
II.1.	Caractérisation des ressources en eaux brutes disponibles sur le site	4
II.2.	Commentaires des résultats analytiques	5
III.	SUGGESTION DE FILIERE DE TRAITEMENT	5
III.1.	Filière de traitement suggérée	7
III.2.	Description de la filière suggérée	7
III.3.	Étapes de la filière de traitement suggérée	10
IV.	COUT DU TRAITEMENT A L'OSMOSE INVERSE	11
V.	OFFRE FINANCIÈRE	12
V.1.	Devis Quantitatif et Estimatif	12
V.2.	Délai de réalisation procédé à l'osmose inverse	12
VI.	ALTERNATIVE AU TRAITEMENT DES EAUX DE FORAGE	13
VI.1.	Caractéristiques de l'eau brute de surface	13
VI.2.	Bilan de la qualité de l'eau brute	14
VI.3.	Traitement approprié de l'eau du N'zi	14
VII.	COUT DU TRAITEMENT	15
VII.1.	Devis Quantitatif et Estimatif du procédé compact classique	16
VII.2.	Délai de réalisation du procédé compact classique	16

## FEUILLE DE SYNTHESE

Sur la base des ressources en eau disponibles, des données du terrain et des contraintes liées au délai d'exécution des travaux à venir, deux procédés ont été jugés dignes d'intérêt pour le traitement des eaux de N'zianouan.

Lesdits procédés sont:

- le procédé d'adoucissement par osmose inverse avec traitement fractionné, pour le traitement d'eau de forage, et;
- le procédé classique, compact et préfabriqué pour le traitement d'eau de surface.

Ci-dessous, une comparaison est faite des caractéristiques et exigences relatives auxdits procédés.

	<b>OSMOSE INVERSE</b>	<b>COMPACT CLASSIQUE</b>
<u>Ressource à traiter:</u>	Eau de forage	Eau de surface
<u>Débit projeté:</u>	15 m <sup>3</sup> /h	20 m <sup>3</sup> /h
<u>Coût du procédé seul:</u>	FCFA 197,7 millions TTC	FCFA 317,4 millions TTC
<u>Délai de réalisation:</u>	90 jours (3 mois)	150 jours (6 mois)
<u>Qualité d'eau respectant les normes?</u>	Oui	Oui
<u>Qualité d'eau confortable?</u>	Oui	Oui

<u>Travaux additionnels à prévoir:</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bâtiment d'exploitation</li> <li>- Bâche stockage eau traitée</li> <li>- Refoulement eau traitée</li> <li>- Puits de stockage de lavage des unités</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bâtiment d'exploitation</li> <li>- Bâche stockage eau traitée</li> <li>- Refoulement eau traitée</li> <li>- Prise d'eau brute (HydroMobil™)</li> <li>- Aménagement piste d'accès aux installations (</li> <li>- Installation générale du chantier</li> <li>- Puits de stockage des eaux de lavages des unités.</li> </ul>
--	--	--

## I. CONTEXTE

L'Office National de l'Eau Potable (ONEP) a commandé, pour le compte d'une Fondation ivoirienne, une étude dont les conclusions serviront à implémenter une filière de traitement des eaux à N'zianouan, S/P de Tiassalé.

Compte tenu de l'urgence dans la réalisation du procédé de traitement d'eau exprimée par le maître d'ouvrage, l'un des critères primordiaux de choix du procédé de traitement de l'eau est celui de la rapidité du délai de réalisation, les autres critères primordiaux seraient le coût et la faisabilité.

OCSI-CI SARL, représentée par son expert, Monsieur Adolphe Kouadio, et une équipe de techniciens ont évalué et suggéré ce qui suit.

## II. ETAT DES LIEUX

### II.1. Caractérisation des ressources en eaux brutes disponibles sur le site

Des analyses effectuées sur les eaux brutes de forage de N'zianouan ont donné les résultats présentés dans le Tableau 1 ci-dessous.

**Tableau 1.** Caractéristiques des eaux brutes de forage de N'zianouan. Source : SODECI, Novembre 2012.

Paramètres	Unités	Valeurs ...	
		... en entrée	... en sortie
1. Température	°c	27.9	
2. Couleur	mg/L Co/Pt	38	≤ 5
3. Turbidité	NTU	4.2	≤ 2
4. pH		7.44	6,5<pH<8,5
5. Conductivité	µS /cm	1820	≤ 600
6. Dureté totale	°F	58	≤ 15
7. Dureté calcique	°F	20.15	≤ 15
8. Dureté magnésienne	°F	37.85	≤ 15
9. Titre alcalin complet (TAC)	°F	51.6	≤ 15
10. Titre alcalin (TA)	°F	0	
11. Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	630	
12. Carbonates (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0	
13. Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	mg/L	80.6	
14. Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	mg/L	92.0	
15. Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/L	122	
16. Potassium (K)	mg/L	3.74	
17. Chlorures (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	198	200
18. Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	49	250
19. Phosphore total (P)	mg/L	0.19	
20. Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	<0.1	< 0,5
21. Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0.40	< 50
22. Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	1.00	< 0,1
23. Florures (F <sup>-</sup> )	mg/L	0.18	≤ 1,5
24. Fer total (Fe)	mg/L	3.69	< 0,3
25. Fer dissous (Fe <sup>2+</sup> )	mg/L	0.25	< 0,3
26. Manganèse (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0.2	0,1

Paramètres	Unités	Valeurs ...	
		... en entrée	... en sortie
27. Aluminium (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0.009	<0,02
28. Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub> en milieu acide, à chaud	mg/L	3.61	< 5
29. Hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S)	mg/L		0,05

\*Recommandations faites par l'Organisation Mondiale de la Santé pour l'eau destinée à la consommation humaine, bases normatives des institutions de Côte d'Ivoire.

## II.2. Commentaires des résultats analytiques

### 1. Eau brute très dure

L'eau brute de N'zianouan présente une dureté exceptionnellement élevée.

La dureté totale de l'eau de 58 °F est excessive et ne la dispose à une consommation humaine sans un traitement de réduction de la minéralisation préalable. Une eau de dureté acceptable doit avoir une valeur de dureté de l'ordre de 8 à 15 °F.

Une eau dure est une source de gêne pour le consommateur. Non seulement elle est désagréable à boire mais les ions responsables de la dureté réagissent avec les savons et ne les fait pas mousser lors des lessives et bains. De plus, les ions calcium, Ca<sup>2+</sup>, ont tendance à précipiter dans les conduites sous forme de carbonate de calcium et à les boucher.

Un tel scénario qui baisserait le débit d'eau disponible et pouvant aller jusqu'à occasionner l'impossibilité de pompage de l'eau est une menace pour l'activité de pompier qu'il faudrait éliminer.

### 2. Teneur en sodium élevée

Avec une teneur en sodium (Na<sup>+</sup>) de 122 mg/L, l'eau brute de N'zianouan relativement chargée en sodium. Trop de sodium dans l'eau de boisson présente des risques graves pour la santé humaine (insuffisance rénale, hypertension artérielle).

La teneur actuelle de l'eau en sodium est inférieure à la limite normative de 200 mg/L mais compte tenu de cette présence significative, le choix de procédés de traitement de l'eau de N'zianouan se trouvera limité.

### 2. Teneur en fer élevée

L'eau brute contient une teneur hors normes de fer et de manganèse qui se trouvent néanmoins sous leurs formes oxydées.

## III. SUGGESTION DE FILIÈRE DE TRAITEMENT

L'eau du forage de N'zianouan est une eau de dureté exceptionnellement élevée. Elle nécessite un traitement de réduction de la minéralisation avant toute consommation humaine.

Comme la dureté est de type à la fois calcique, magnésienne, carbonaté et non carbonate, son traitement se fera par la mise en œuvre de procédés unitaires délicats qu'génèrera un rebus non recyclable et gênante pour l'environnement qu'il faut limiter.

Les procédés d'adoucir l'eau de N'zianouan sont:

- la décarbonatation catalytique

- la décarbonatation électrique
- l'adoucissement par résine échangeuse d'ions;
- l'adoucissement par précipitation;
- l'osmose inverse avec traitement fractionné (Split Treatment).

Certains de ces procédés produiront des eaux dont les qualités ne seront pas acceptables, au regard des exigences des recommandations de l'OMS relatives aux eaux destinées à la consommation humaine, compte tenu des teneurs originellement élevés en certains éléments.

Le Tableau 2 ci-dessous fait une comparaison des procédés d'adoucissement pré-cités et présente un jugement de leurs pertinences ou impertinences.

**Tableau 2.** Comparaison de procédés d'adoucissement et de décarbonatation applicables à N'zianouan, 15 m<sup>3</sup>/h.

PROCÉDÉ	CARACTÉRISTIQUES	OBSERVATIONS
<b>1. Décarbonatation catalytique:</b>	Procédé efficace. Ce procédé permet l'élimination du calcaire sous forme de germes de carbonate de calcium.	Procédé destiné aux installations supérieures à 100 m <sup>3</sup> /h. Il est délicat à réaliser, à moins d'acquiescer une version sous licence. De plus, il demande un long délai de mise en oeuvre.
<b>2. Décarbonatation électrique:</b>	Ce procédé fonctionne sans l'utilisation de réactif. Il consiste à faire précipiter le carbonate de calcium par électrolyse de l'eau pour rétablir l'équilibre calco-carbonique. Un courant électrique très faible provoque la germination instantanée puis la cristallisation du calcaire solide que l'on peut soustraire comme dépôt.	Ce procédé a une performance limitée et ne s'adapte qu'aux eaux très peu turbides (pas à celles issues des forages de N'zianouan).
<b>3. Echange d'ions:</b>	Procédé efficace et simple à mettre en oeuvre. Une résine chargée en ions positifs capte les ions calcium de l'eau et les échange contre ses propres cations.	La résine échangeuse d'ions échange ses sodiums contre les calciums de l'eau. Or l'eau de N'zianouan ne peut se charger davantage en sodium (122 mg/L pour une limite de 200 mg/L à ne pas dépasser), au risque d'être impropre à la boisson humaine.
<b>4. Adoucissement par précipitation:</b>	Comme la dureté de l'eau est à la fois calcique, magnésienne, carbonatée et non carbonatée, l'adoucissement par précipitation adéquat est la mise en oeuvre d'un procédé par addition d'un excès de chaux et de soude. Une telle filière nécessite une quinzaine d'étapes de traitement.	Une filière d'adoucissement par précipitation pour l'eau de N'zianouan sera compliquée et nécessiterait d'être pilotée par des mains de maître. Compte tenu de l'éloignement du site des centres d'exploitation à fort potentiel humain, il n'est pas pertinent de l'envisager à N'zianouan.
<b>5. Osmose inverse:</b>	Sous l'effet d'une pression supérieure à la pression osmotique, on force une eau à franchir seule une membrane en la débarrassant ainsi de ses constituants naturels (matières en suspension, minéraux, composés organiques, métaux, bactéries, virus, etc.).	Ce procédé est rapide à mettre en oeuvre. Il présente toutefois des coûts d'exploitation élevés, du fait de la nécessité de changements récurrents de membranes mais aussi de la demande d'énergie électrique pour assurer l'énergie de pression.

L'analyse comparée des procédés pressentis applicables à N'zianouan (cf. Tableau 2) nous amène à porter notre choix sur le procédé d'adoucissement par osmose inverse qui sera réalisé avec traitement fractionné (Split Treatment).

Dans le traitement fractionné, la plus grande partie de l'eau brute est traitée par osmose inverse. On mélange ensuite la partie de l'eau non traitée à l'eau traitée pour obtenir une qualité d'eau finale respectant les normes d'eau de boisson humaine.

La filière de traitement par osmose inverse avec traitement fractionné suggérée réalise l'adoucissement de l'eau mais aussi élimine les éléments gênants ou toxiques (traces de pesticides, nitrates, fer, manganèse, bactéries, virus, etc.) présents dans l'eau brute. Il y sera associé un procédé de désinfection qui assurera la sécurité microbiologique de l'eau durant son séjour dans les canalisations jusqu'au robinet du dernier consommateur connecté au réseau de distribution.

L'eau issue de la filière sera agréable à boire et ne bouchera pas les conduites par colmatage dû aux précipitations de sels carbonatés. Elle sera donc disponible et utilisable par les services de pompiers.

### **III.1. Filière de traitement suggérée**

L'eau de forage de N'zianouan a des caractéristiques particulières qui appellent une filière de traitement particulière pouvant se présenter comme suit: Déferrisation/Démanganisation – Prétraitement pour osmose inverse (désinfection, filtration, ajout de séquestrant) – Osmose inverse – Mitigeage de la minéralisation – Désinfection.

### **III.2. Description de la filière suggérée**

#### *III.2.1. Déferrisation et Démanganisation*

L'eau refoulée du forage percole dans un massif de sable disposé dans un premier filtre, puis entre dans un deuxième filtre à massif de charbon actif en grains. Au terme de ce parcours, l'eau est débarrassée des formes oxydées de métaux de transition (fer et manganèse) qu'elle contient et qui génèrent les étapes postérieures s'ils y restaient présents.

#### *III.2.2. Prétraitement pour osmose inverse*

L'eau sortie des deux filtres à sable en série est filtrée par un filtre à sédiments d'une porosité 10 microns pour amener la turbidité de l'eau de 4 NTU à la valeur de moins de 1 NTU nécessaire à la disposer aux étapes de traitement postérieures.

Au cours de la filtration à travers la membrane à porosité de 10 µm, seules les impuretés solides sont retenues.

A l'issue de la filtration, le filtrat est chloré par injection d'hypochlorite de calcium puis reçoit un séquestrant, le bisulfite de sodium, qui est utilisé pour piéger les traces de métaux et les rendre plus facilement éliminables par la microfiltration.

#### *III.2.3. Osmose inverse*

L'osmose inverse est assurée par une cartouche à membrane d'osmose inverse qui comporte une sortie d'eau osmosée (perméat) et une sortie de rejet (concentrat). Le sortie de rejet passe au travers d'un restricteur de débit qui permet à la membrane d'être rincée en permanence de façon optimale.

A cet stade de l'osmose inverse, le perméat représente 75% de l'eau entrant et le rejet, 25%.

Pour diminuer le taux de 25% de rejet issu de l'osmose inverse, qui, autrement envahirait l'environnement immédiat de la station projetée de N'zianouan et lui serait préjudiciable, le concentrat est retraité dans de nouvelles membranes d'osmose inverse. Cette deuxième osmose permet de récupérer 75% de l'eau du concentrat précédent.

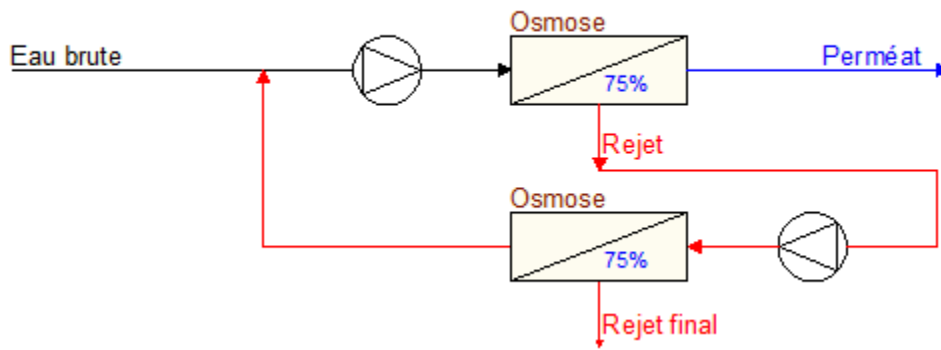


Fig. 1. Flux de matières dans le système d'osmose inverse projeté à N'zianouan.

Le bilan global de rejet final issu de l'osmose en cascades est de 12% du débit de départ, ce qui est un niveau de rejet assez proche de celui observé avec les stations classiques (10%).

### III.2.3.1. Mitigeage des caractéristiques de l'eau osmosée

Si le traitement de l'eau brute s'est imposé du fait de sa minéralisation extrêmement grande, l'osmose inverse a eu pour effet de donner à cette eau issue des forages une minéralisation extrêmement faible qui ne remplit pas les critères de potabilité et de qualité organo-leptique. Il s'impose donc de donner à l'eau des caractéristiques intermédiaires répondant aux critères de potabilité et et qu se rapprocherait des conditions d'équilibre calco-carbonique.

Pour ce faire, il est opéré un mélange de ces deux eaux extrêmes (eau brute et eau osmosée) dans des proportions qui assurent les objectifs de caractéristiques physico-chimiques poursuivis.

Pour mitiger les caractéristiques de l'eau osmosée, un by-pass du débit d'eau brute est injectée dans l'eau osmosée dans des proportions calculées.

### III.2.3.2. Dimensionnement de l'osmoseur

Le procédé d'osmose inverse peut être schématisé comme suit :

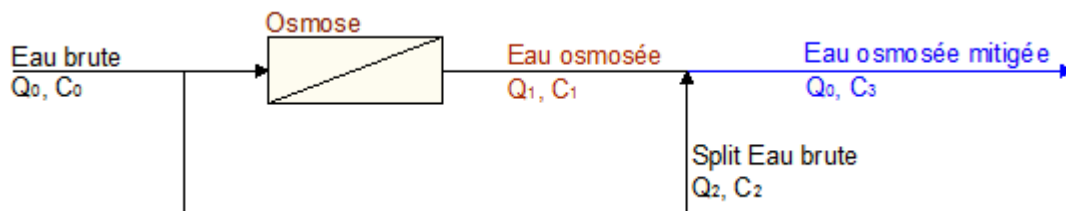


Fig. 2. Bilan matières sur osmoseur dans le système d'osmose inverse projeté à N'zianouan.

Lorsqu'on réalise les bilans sur tout le procédé d'osmose inverse...

> bilan volumique:

- $Q_0$ , débit d'eau brute ( $15 \text{ m}^3/\text{h}$ ) entrant à  $58 \text{ }^\circ\text{F}$  de dureté ( $C_0$ );
- $Q_1$ , débit de la grande portion traitée à résiduel de dureté de  $0.2 \text{ }^\circ\text{F}$  ( $C_1$ );
- $Q_2$ , débit de la petite portion servant à mitiger la faible minéralisation de l'eau osmosée.



> bilan-matière sur la dureté:

- $C_1 \times Q_1$ , masse de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  constituant la dureté résiduelle (sortant dans l'osmoseur);
- $C_2 \times Q_2$ , masse de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  de la petite portion servant à mitiger la faible minéralisation de l'eau osmosée;
- $C_m \times Q_0$ , masse de  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$  constituant la dureté de 15 °F de l'eau finale ( $C_m$ ).

... le système de l'osmoseur est traduit par le modèle suivant :

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 = Q_0 \\ C_1 Q_1 + C_2 Q_2 = C_m Q_0 \end{cases}$$

**Erreur ! Signet non défini...** soit  $\begin{bmatrix} Q_1 & Q_2 \\ 0.2 Q_1 & 58 Q_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15 \\ 15 \times 15 \end{bmatrix}$   
la matrice:

... qui donne un système dont la solution est:  $\begin{cases} Q_1 = 11.2 \\ Q_2 = 3.8 \end{cases}$

Ainsi, le choix de l'osmoseur pour traitement les 15 m<sup>3</sup>/h d'eau nécessaire à l'alimentation du Centre de Secours d'Urgence de N'zianouan se base sur le fractionnement suivant de l'eau brute:

- 11.2 m<sup>3</sup>/h à osmoser avec un résiduel de dureté de 0.2 °F, et;
- 3.8 m<sup>3</sup>/h à mélanger à l'eau osmosée pour obtenir une eau traitée de dureté inférieure ou égale à 15 °F.

Comme l'osmoseur fonctionne en Tout-Ou-Rien et que les calibres qui encadrent les 11.2 m<sup>3</sup>/h d'eau à osmoser sont 10 m<sup>3</sup>/h et 12 m<sup>3</sup>/h, nous retenons le calibre de 12 m<sup>3</sup>/h pour N'zianouan.

Au final,

- 12 m<sup>3</sup>/h d'eau brute seront osmosée, et;
- 3 m<sup>3</sup>/h d'eau brute serviront à mitiger l'eau osmosée pour obtenir une eau traitée de dureté désirée (inférieure ou égale à 15 °F).

En tenant compte des 12% de rejet par rapport au débit entrant, la dureté (mitigée) de l'eau finale est calculée égale à:

$$\frac{0.2 \times 12 \times (1 - 0.12) + 58 \times 3}{12 \times (1 - 0.12) + 3} = 13.0 \text{ °F}$$

Produire une eau de dureté de 13 °F répond à l'objectif poursuivi, puisqu'il fallait partir d'une eau de 58°F de dureté pour aboutir à une eau adoucie de dureté comprise entre 8 et 15°F.

### III.2.4. Désinfection

L'eau mitigée est le perméat minéralisé par un appoint de dureté issue de l'eau brute. Elle (l'eau mitigée) reçoit de l'hypochlorite de calcium pour sa désinfection.

L'hypochlorite de calcium servant à la désinfection est le même que celui ayant servi à la préchloration. Il est préalablement dilué dans un bac avant d'être injecté, à l'aide d'une pompe doseuse fonctionnant en duplex (préchloration + désinfection).

L'eau traitée est ensuite stockée au réservoir, avant sa distribution.

### III.3. Étapes de la filière de traitement suggérée

Le Tableau 3 rend compte, étape par étape, du procédé de traitement de l'eau de forage, ainsi que des caractéristiques du traitement projeté.

**Tableau 3.** *Étapes de la filière de traitement proposée à N'zianouan.*

<b>Étape</b>	<b>Débit et taux de traitement</b>
POMPAGE D'EXHAURE ↓	Pompage de 15 m <sup>3</sup> /h d'eau de forage.
DEFERRISATION / DEMANGANISATION ↓	Percolation du flux pompé dans un massif de sable.
DESINFECTION ET FILTRATION SUR SABLE ↓	Injection d'un désinfectant chloré dans 12 m <sup>3</sup> /h d'eau de forage puis percolation du flux dans un massif de sable de granulométrie 10 µm.
PRETRAITEMENT POUR OSMOSE INVERSE ↓	Injection de séquestrant puis percolation du flux dans un massif de sable de granulométrie 1 µm..
OSMOSE INVERSE ↓	Osmose inverse en cascades de 12 m <sup>3</sup> /h d'eau de forage pour un rejet de 12%.
MITIGEAGE DE LA MINERALISATION ↓	Mélange de 3 m <sup>3</sup> /h d'eau brute à 12 m <sup>3</sup> /h d'eau de forage
DÉSINFECTION ↓	Injection de 0.5 g/m <sup>3</sup> d'hypochlorite de sodium.
STOCKAGE / DISTRIBUTION	Refoulement de 12.75 m <sup>3</sup> /h dans le réseau de consommation.

On estime à environ 15% les pertes en eau dues au rejet de concentrat, lavages du filtre à sable, préparation de produit de traitement, entretien général de l'usine, etc.

Ces pertes seront compensées par un temps de fonctionnement complémentaire conséquent.

#### III.3.1. Caractéristiques physico-chimiques de l'eau traitée

Les caractéristiques physico-chimiques attendues de l'eau traitée sont portées au Tableau 4.

**Tableau 4.** *Caractéristiques physico-chimiques attendues de l'eau traitée issue du projet de procédé de traitement d'eau de N'zianouan.*

<b>Paramètres</b>	<b>Eau brute</b>	<b>Eau traitée</b>
pH	7.44	7.2
Couleur (mg/L)	38	1
Turbidité (NTU)	4	0.9
Fer total (mg/L)	1.00	0.01
Mn total (mg/L)	0.2	0.01
Titre hydrotimétrique total (Dureté) (°F)	58	13.0
Chlore libre (mg/L)	-	0.5
Conductivité (µS/cm)	1820	~ 250
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) (mg/L)	<0.1	0.0
Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	0.40	0.1
Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> ) (mg/L)	1.00	0.1

Page laissée vierge intentionnellement ...

## V. OFFRE FINANCIÈRE

### V.1. Devis Quantitatif et Estimatif

**Tableau 6.** Devis Quantitatif et Estimatif pour la Conception et réalisation d'un poste d'osmose inverse pour production d'eau destinée à la boisson humaine à N'zianouan. 15 m<sup>3</sup>/h.

N°	Désignation	Qté	Prix unitaire	Prix total
<b>1</b>	<b>Poste de surpression d'eau brute</b>			
	Surpression amont composé de 2 pompes (normal + secours) 20 m <sup>3</sup> /h, 4 bars	1	5 003 300 F	5 003 300 F
<b>2</b>	<b>Poste d'osmose inverse</b>			
2.1.	Désinfection et filtration sur sable	1	16 232 900 F	16 232 900 F
2.2.	Prétraitement osmose inverse	1	9 256 100 F	9 256 100 F
2.3.	Mitigeage	1	2 501 600 F	2 501 600 F
2.4.	Osmose Inverse 12 m <sup>3</sup> /h, avec 12% de rejet	1	78 523 800 F	78 523 800 F
2.5.	Système de Nettoyage En Place (NEP) intégrée	1	8 450 000 F	8 450 000 F
2.6.	Post chloration	1	2 501 600 F	2 501 600 F
<b>3</b>	<b>Matériel d'analyse et de contrôle de procédé</b>			
3.1.	Trousse d'analyse: Spectrophotomètre d'absorption moléculaire et accessoires, turbidimètre, pH-mètre, conductimètre + réactifs pour 99 tests)	1	8 606 700 F	8 606 700 F
<b>4</b>	<b>Installation et formation à l'exploitation de l'unité de production; Forfait</b>	1	36 468 770 F	36 468 770 F
<b>Montant Total H.T.:</b>				<b>167 544 770 F</b>
<b>Montant TVA 18%:</b>				<b>30 158 059 F</b>
<b>Montant Total T.T.C. :</b>				<b>197 702 829 F</b>

La réalisation du poste d'osmose inverse pour production d'eau destinée à la boisson humaine que nous suggérons à N'zianouan coûtera **FCFA 197,7 millions TTC** (cf. Tableau 6).

Le maître d'ouvrage devra prévoir en sus de la présente estimation:

- un réservoir au sol avec système de pompage pour stockage et refoulement de l'eau traitée au château d'eau;
- un bâtiment pour héberger le procédé ou adapter un existant. Dimensions: 10 m x 8 m;
- l'amenée d'eau sur le procédé proposé;
- le réseau d'évacuation du rejet issu du procédé;
- l'eau brute sur site;
- l'électricité sur site.

### V.2. Délai de réalisation procédé à l'osmose inverse

La réalisation de la filière à l'osmose inverse de traitement d'eau de consommation humaine à N'zianouan se fera dans un délai de quatre-vingts dix (90) jours.

## VI. ALTERNATIVE AU TRAITEMENT DES EAUX DE FORAGE

Alternativement au procédé d'osmose inverse avec traitement fractionné, il est possible d'acquérir un système compact préfabriqué pour traiter l'eau du fleuve N'zi à N'zianouan.

Le système compact préfabriqué procède de la technique classique de potabilisation de l'eau de surface et a, de ce fait, l'avantage de pouvoir intégrer facilement le plan d'adduction en eau potable de l'ONEP pour le village de N'zianouan.

Toutefois, dans le contexte actuel, il présente le double inconvénient suivant:

- Il requiert un effort d'investissement plus élevé que celui de la mise en oeuvre du procédé à l'osmose inverse;
- Le délai de réalisation est de l'ordre de cinq (5) mois, soit de deux (2) mois plus long que celui de la mise en oeuvre du procédé à l'osmose inverse.

Compte tenu de la pérennité de la ressource à traiter, le fleuve N'zi, et de la facilité supposée à intégrer le plan d'adduction en eau potable de l'ONEP, le système compact préfabriqué peut être digne d'intérêt.

### VI.1. Caractéristiques de l'eau brute de surface

Des analyses réalisées sur l'eau brute issue du fleuve N'zi à N'zianouan ont donné les résultats présentés dans le Tableau 7.

**Tableau 7.** Caractéristiques l'eau brute issue du fleuve N'zi à N'zianouan. Source : Laboratoire ENVAL, Mars 2013.

Paramètres	Unités	Valeurs	Normes OMS
1. Température	°C	27,1	
2. Couleur	mg/L Co/Pt	118	≤ 5
3. Turbidité	NTU	46,6	≤ 5
4. pH		7,14	6,5<pH<8,5
5. Conductivité	µS /cm	77,2	
6. Dureté totale	°F	2,3	
7. Dureté calcique	°F	1,4	
8. Dureté magnésienne	°F	0,9	
9. Titre alcalin complet (TAC)	°F	2,95	
10. Titre alcalin (TA)	°F	0,00	
11. Bicarbonates (HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	16,2	
12. Carbonates (CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0,00	
13. Calcium (Ca <sup>2+</sup> )	mg/L	5,6	
14. Magnésium (Mg <sup>2+</sup> )	mg/L	2,20	
15. Sodium (Na <sup>+</sup> )	mg/L		
16. Potassium (K)	mg/L	2,67	
17. Chlorures (Cl <sup>-</sup> ) mg/l	mg/L	6,9	200
18. Sulfate (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	5	250
19. Phosphates (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0,61	
20. Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	mg/L	0,62	<0,5

	<b>Paramètres</b>	<b>Unités</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Normes OMS</b>
21.	Nitrates (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	3	<50
22.	Nitrites (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,007	< 0,1
23.	Florures (F <sup>-</sup> )	mg/L	0,2	
24.	Fer (Fe <sup>2+</sup> )	mg/L	1,95	0,3
25.	Manganèse (Mn <sup>2+</sup> )	mg/L	0,074	0,1
26.	Aluminium (Al <sup>3+</sup> )	mg/L	0,01	<0,02
27.	Cuivre	mg/L	0,02	
28.	Oxydabilité au KMnO <sub>4</sub> en milieu acide, à chaud	mg/L	9,5	< 5
29.	Hydrogène sulfuré (H <sub>2</sub> S)	mg/L	0,033	0,05

## **VI.2. Bilan de la qualité de l'eau brute**

L'eau brute issue du fleuve N'zi à N'zianouan contient des éléments indésirables (fer, ammonium, matières organiques, ...) et présente de fortes valeurs de couleur et de turbidité. En outre, elle a une faible minéralisation qui suggère un caractère potentiellement agressif vis-à-vis des canalisations métalliques qui la véhiculeront.

Ces caractères agressifs et/ou hors normes de l'eau ne permettent pas de la distribuer sans un traitement préalable.

## **VI.3. Traitement approprié de l'eau du N'zi**

Compte tenu de la couleur et turbidité significatives de l'eau brute, une clarification (coagulation, floculation et décantation) de l'eau du N'zi est nécessaire.

Dans ce cas d'espèce d'eau brute apparemment pas eutrophe, la filière de traitement la plus appropriée sera composée des étapes suivantes : Pompage d'exhaure – Prétraitement chimique – Filtration – Désinfection – Mise à l'équilibre calco-carbonique – Stockage/Distribution.

### VI.3.1. Filière de traitement préconisée

POMPAGE D'EXHAURE	20 m <sup>3</sup> /h
↓	
AERATION PREOXYDATION	2 g/m <sup>3</sup> Hypochlorite de calcium
↓	
COAGULATION	50 g/m <sup>3</sup> Sulfate d'alumine
↓	
FLOCCULATION	
↓	
DÉCANTATION	1 décanteur cylindro-conique de Ø 6 m
↓	
FILTRATION	1 filtre à sable
↓	
DÉSINFECTION	1 g/m <sup>3</sup> Hypochlorite de calcium
↓	
MISE À L'ÉQUILIBRE	17 g/m <sup>3</sup> de chaux éteinte
↓	
STOCKAGE/DISTRIBUTION	18 m <sup>3</sup> /h

### VI.3.2. Caractéristiques du procédé préconisé

Pour répondre aux exigences de court délai de réalisation, le système de traitement de l'eau du N'zi préconisé est compact et préfabriqué. Les caractéristiques du système pressenti sont les suivantes:

Débit nominal:	20 m <sup>3</sup> /h
Puissance installée:	8,0 kW
Dimensions globales:	9700 x 2600
Emprise dalle-béton:	31,8 m <sup>2</sup>
Poids total à vide (y compris sable dans les filtres):	9.9 tonnes
Nombre de filtres:	2
<b>Produits de traitement:</b>	
Préoxydation:	Hypochlorite de calcium
Coagulation/flocculation:	Sulfate d'alumine Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> , 18H <sub>2</sub> O à 17% de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Mise à l'équilibre calco-carbonique:	Chaux éteinte

## VII. COÛT DU TRAITEMENT

Les charges proportionnelles se rapportant à la demande du procédé en produits de traitement (Francs/m<sup>3</sup>) et en énergie (Wh/m<sup>3</sup>) sont ci-dessous exposées (Tableau 1).

Tableau 1. Coût proportionnel du traitement de l'eau.

		Coût	Taux (/m <sup>3</sup> )	Coût (F/m <sup>3</sup> )
Préoxydation	Hypochlorite de calcium	2400 F/kg	2	4,80
Coagulation	Sulfate d'alumine	152 F/kg	50	7.60
Désinfection	Hypochlorite de calcium	2400 F/kg	1	2,40
Mise à l'équilibre	Chaux éteinte	104 F/kg	17	1,76
Energie		66 F/kWh	0.40	26.40
Total				42.96

Le mètre-cube d'eau produit à Nzianoua à l'issue de la réalisation d'une filière utilisant l'eau du fleuve Nzi est de 42.96 FCFA environ.

## VII.1. Devis Quantitatif et Estimatif du procédé compact classique

Le coût total du procédé compact est le coût cumulé pour la fourniture et pose de l'ensemble des systèmes, installations ou matériels (cf. Tableau 8), hors prise d'eau brute, connexions hydrauliques et électriques et réservoir d'eau traitée.

**Tableau 8.** Devis Quantitatif et Estimatif du procédé compact classique pour traiter l'eau de surface du N'zi à N'zianouan. 20 m<sup>3</sup>/h.

No.	Description	Cond.	Qté	Prix unitaire	Prix total
<b>1.</b>	<b>Procédé compact installé</b>				
1.1.	Système compact pré-fabriqué	Ens.	1	252 194 000 F	252 194 000 F
1.2.	Plate-forme en béton armé: 10m x 3m	m2	30	225 400 F	6 762 000 F
	<b>TOTAL, Procédé compact installé</b>				<b>258 956 000 F</b>
<b>2.</b>	<b>Matériels d'analyses physico-chimiques et de contrôle</b>				
2.1.	Trousse d'analyse spectrophotométrique et volumétrique	Unité	1	7 401 700 F	7 401 700 F
2.2.	Floculateur (pour Jar Test)	Unité	1	2 467 900 F	2 467 900 F
	<b>TOTAL, Matériels d'analyse et de contrôle</b>				<b>9 869 600 F</b>
<b>3.</b>	<b>Produits de traitement</b>				
3.1.	Sulfate d'alumine	Kg	150	400 F	60 000 F
3.2.	Hypochlorite de calcium	Kg	45	2 100 F	94 500 F
3.3.	Chaux �teinte	Kg	80	200 F	16 000 F
	<b>TOTAL, Produits de traitement</b>				<b>170 500 F</b>
				<b>Montant Total H.T. :</b>	<b>268 996 100 F</b>
				<b>Montant TVA (18%):</b>	<b>48 419 298 F</b>
				<b>Montant Total TTC:</b>	<b>317 415 398 F</b>

La réalisation procédé compact pour la production d'eau destinée à la boisson humaine que nous suggérons comme alternative à N'zianouan coûtera **FCFA 317,4 millions TTC** (cf. Tableau 8).

En sus du présent devis, le maître d'ouvrage devra mettre à disposition ou réaliser:

- un réservoir au sol avec système de pompage pour stockage et refoulement de l'eau traitée au château d'eau;
- un bâtiment ou abri pour héberger le procédé ou adapter un bâtiment existant. Dimensions: 12m x 5m;
- l'ensemble des travaux hydrauliques et électriques hors procédé compact, y compris les travaux d'amenée d'eau brute, de refoulement des eaux traitées d'évacuation des boues;
- la prise d'eau brute (HydroMobil<sup>TM</sup>, par exemple);
- l'eau brute sur site;
- l'électricité sur site.

## VII.2. Délai de réalisation du procédé compact classique

Le délai de réalisation de la filiere de traitement d'eau de consommation humaine à N'zianouan est de cinq (5) mois.