UNIVERSITE DE KINSHASA

Faculté des Sciences
Département de Chimie et Industrie
B.P. 190, Kinshasa XI

Professeur Crispin Mulaji
Laboratoire de Monitoring Environnemental, Local A26.
Courriel : crispin.mulaji@unikin.ac.cd
Tél/WhatsApp : +234 82 06 56 983

Test de purification de l'eau par Hypochlorite de Sodium produit par l'appareil NANO-WATA

Projet d'étude sur les eaux de boisson des différentes sources de la ville de Kinshasa en RD Congo

Etude sur mandat de la Fondation ANTENNA

Avenue de la Grenade 24
1207 Genève SuisseAvril 2022

RESUME

Cette étude mandatée par la Fondation ANTENNA a été réalisée par le Département de Chimie et Industrie de l'Université de Kinshasa (UNIKIN) en collaboration avec le Département F.-A. Forel des Sciences de l'Environnement et de l'eau de l'Université de Genève (UNIGE). Elle a comme objectif principal de proposer les modalités de tests de la technologie NANO-WATA en utilisant l'appareil qui produit 80 mL d'hypochlorite de sodium (6 g L^{-1}) en 20 min environ, permettant de traiter en moyenne 320 L d'eau ou de produire 0.6 L de solution désinfectante pour les surfaces. Il a été question d'analyser et de traiter les eaux souterraines et des différentes sources utilisées par la population de la ville de Kinshasa comme eau potable, en utilisant la solution de l'hypochlorite de sodium produite par l'appareil NANO-WATA.

Les paramètres physicochimiques (notamment le pH, Conductivité électrique (CE), oxygène dissout (O_2) et bactériologiques (*Escherichia coli* (*E. coli*), Entérocoques (ENT), Pseudomonas et germes aérobie mésophiles (AMB)) ont été testés avant et après le traitement de l'eau avec la solution d'hypochlorite de sodium selon les recommandations de la technologie NANO-WATA en utilisant l'hypochlorite de sodium (6 g L^{-1}) pour un traitement de 320 L d'eau. Les eaux souterraines testées proviennent de deux communes périurbaines (Selembao et Mont-Ngafula) de la ville de Kinshasa. La sélection de ces deux communes a été faites sur base de nos recherches antérieures qui indiquent que - plus de 70% de la population n'a pas accès à l'eau potable, - la présence des épidémies des maladies hydriques récurrente et persistantes dans ces communes, - et les hôpitaux et les habitations situés dans ces communes sont très mal équipés pour les problèmes sanitaires, systèmes de désinfections d'eau et de surfaces en milieux hospitaliers.

Lors de cette cherche, les contacts et les démonstrations ont été effectuées auprès des autorités communales et provinciales locales ainsi que des responsables de centres de santé des deux communes. Deux versions d'appareil NANO- WATA (automatisé et manuel) ont été utilisées, mais la version automatisé n'a pas bien fonctionné avec le module solaire pour la production de la solution d'hypochlorite de sodium. La version manuel a très bien fonctionné avec le module solaire et a suscité beaucoup d'intérêt du fait des problèmes de manque d'électricité.

Les résultats statistiquement quantitatifs indiquent les faits suivants :

- La concentration de la solution d'hypochlorite de sodium produite par les deux versions des appareils (manuel et automatisé) varie de 6 à 7,5 g L^{-1} pendant 22 ± 2 minutes en fonction de types de sels vendus dans les marchés de Kinshasa et de l'eau à utiliser (eau distillée de laboratoire, eau de robinet localement produit par la Régie de distribution d'eau (REGIDESO, société nationale), et eaux souterraines testées provenant des puits et des sources). La

production de la solution d'hypochlorite de sodium 6 g L^{-1} était optimale (à 22 minutes) en utilisant l'eau de distillée de laboratoire et l'eau de robinet quelques soient les sels utilisés.

- Les paramètres physicochimiques notamment le pH et la conductivité électrique ont augmentés après le traitement des eaux par la solution d'hypochlorite, mais les valeurs restent conformes aux normes de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).
- D'une manière générale, la solution produite d'hypochlorite de sodium permet d'éliminer les germes bactériens (*E. coli*, ENT, Pseudomonas, AMB) pour des concentrations maximums comprises entre 250-300 UFC 100 mL^{-1}. Au-delà de cette concentration, l'élimination des germes par la solution d'hypochlorite est de 95-99%. Le tableau ci-dessous observé pendant la période de crue dans la commune de Selembao illustre bien cette affirmation :

SITES DE SELEMBAO	**CRUE 1**							
CODE	***E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})**		**ENT (UFC x 100mL^{-1})**		**Pseudo (UFC x 100mL-1)**		**PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})**	
	Avant	**Après**	**Avant**	**Après**	**Avant**	**Après**	**Avant**	**Après**
P1	100	0	500	43	250	0	90	0
P2	1000	25	4000	99	320	29	1120	12
S1	160	0	250	0	180	1	800	8
S2	50	0	80	0	0	0	1700	0
F1	230	0	170	0	0	0	250	0
F2	10	0	0	0	0	0	50	0
T	0		0		0		4	

P : eau de puits, S : eau de source : F : eau de fontaine

- La population, les autorités et les responsables des centres de santé étaient très contents et ont manifesté leurs intérêts de voir la technologie NANO-WATA s'appliquer pour la production de l'eau potable et la désinfection des surfaces dans les centres médicaux enfin de lutter contre les maladies hydriques récurrentes et persistantes dans ces communes.

Cette étude permet les conclusions et recommandations suivantes :

- La technologie NANO-WATA peut être appliquées avec succès pour la désinfection des eaux des forages des différentes communes de la ville de Kinshasa. Toutefois, pour les eaux dont les valeurs de concentration dépassent 300 UCF 100 mL^{-1}, nous recommandons l'optimisation stœchiométrique de traitement (soit augmenter le volume d'hypochlorite ou réduire le volume d'eau à traiter).
- L'appareil NANO-WATA fonction très bien pour les 2 versions (manuel/automatisé) avec le courant électrique. Cependant, la version automatisé n'a pas bien fonctionné avec le module

solaire pour la production d'hypochlorite (voir détaille en annexe-1). Nous recommandons fortement l'optimisation de cet appareil car il sera le mieux adapter en milieux périurbains ou ruraux vu le problème de manque de courant électrique dans ces zones.

- Les résultats obtenus permettent de proposer une collaboration entre la Fondation ANTENNA et les autorités gouvernementales de la République Démocratique du Congo (RDC) pour l'application de cette technologie à une échelle très large dans les institutions sanitaires (hôpitaux et cliniques), scolaires ainsi qu'auprès des ménages à l'échelle de la province de Kinshasa et nationale. Le Prof. Crispin Mulaji de l'Université de Kinshasa qui est responsable de ce mandat a commencé à prendre les contacts avec les autorités nationales des ministères de la santé et de l'environnement. Les issues de ces contacts seront communiquées aux mandataires de la fondation ANTENNA.

Précisions :

Deux versions des appareils NANO-WATA :

- Automatisé : permet d'arrêter automatiquement l'électrolyse à 22 minutes.
- Manuel : l'électrolyse doit être interrompue manuellement en débranchant l'appareil du courant après 22±2 minutes par l'utilisateur.

Cependant, pour les 2 versions, la concentration d'hypochlorite obtenue variée de 6 à 7,5 gL^{-1} en fonction du type de sel vendu sur le marché et de l'eau (forage, puit, robinet, source, pluie).

Alimentation :

- Solaire
- Sur réseaux/ secteur

I. INTRODUCTION

La RD. Congo possède un potentiel élevé en ressource en eau. Les eaux souterraines dont les réserves ne sont pas quantifiées de manière exhaustive, peuvent être importants comptes tenus de l'étendue des aquifères identifiés à travers le pays. Malgré ces potentiels en eau douce, plus de 75 % de la population n'a pas accès à l'eau potable (UNEP, 2011). Les habitants des quartiers périphériques de Kinshasa ainsi que le milieu rural recourent aux souterraines (puits, forages, sources) pour leur consommation. Ces eaux présentent de manière générale des bonnes caractéristiques (inodore et incolore) sur le plan organoleptique. C'est généralement sur cette base que les populations se fondent pour apprécier la qualité (bonne ou mauvaise) de l'eau.

Les études menées à Kinshasa par Kapembo et *al*. (2016 ; 2019 et 2022) ont révélé que la plupart des points d'eaux souterraines échantillonnés présentaient des valeurs des paramètres physicochimiques conformes aux normes de l'OMS. En ce qui concerne les paramètres microbiologiques, ceux-ci ont montré une forte contamination bactériologique pour la majorité des points d'eaux prélevés au cours de ces études.

Parmi les méthodes de désinfection des eaux souterraines, le chlore ou l'hypochlorite de sodium inactive rapidement les microorganismes (Chalmers et *al*., 2000 ; Rice et Degnan, 2006).

C'est ainsi que l'objectif poursuivi au cours de cette étude consiste à traiter ces eaux souterraines par une solution de l'hypochlorite de sodium (NaClO) produite en utilisant l'appareil NANO-WATA.

Un partenariat de collaboration a été signé entre les Universités de Kinshasa et de Genève avec l'ONG ANTENNA.

Deux communes (Selembao, Mont-Ngafula) et quatre quartiers (Ngafani, Libération, N'djili-Kilambu et Vermane) ont été retenus comme site d'étude. Des échantillons ont été prélevés deux fois durant la période de crue et celle d'étiage.

II. METHODOLOGIE

II.1. Procédure d'échantillonnage et site d'étude

Des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés pendant la période de crue, et celle d'étiage. La fréquence d'échantillonnage de l'eau de chaque site était réalisée deux fois par période. L'eau des puits a été prélevée par un dispositif artisanal utilisant 1 litre (L) d'une bouteille plastique en polyéthylène propre attachée à une corde. Avant le prélèvement, la bouteille a été rincée avec l'eau de puits 2 à 3 fois (Kapembo et *al*., 2016). Un blanc de matériel d'échantillonnage pour ces eaux a été réalisé sur terrain tel

que décrit dans Aquaref (2009). Pour les forages et les sources, un pompage prolongé a été effectué dans le but d'obtenir l'eau de qualité permanente (Bricha et *al*., 2007). Les échantillons d'eaux ont été repartis en bouteilles de 500 mL en plastique propres pour les analyses physico-chimiques, et dans l'autre bouteille de 500 mL préalablement stérilisée pour les analyses bactériologiques. Après le prélèvement, les échantillons ont été stockés dans un frigidaire à 4 ° C et immédiatement transportés au laboratoire pour analyse dans les 24 heures (Poté et *al*., 2009 ; Kayembe et *al*., 2018).

La zone d'étude concerne les quartiers périphériques de la ville de Kinshasa : N'DJILI KILAMBU et VERMANE (commune Mont-Ngafula) ainsi que ceux de LIBERATION et NGAFANI (Selembao) qui ont été choisis sur base des critères suivants (Landreau, 1990 ; Kapembo et *al*., 2016 ; Kouam,2013) : l'accessibilité à l'eau potable ; l'insalubrité ; l'absence de lotissement ; milieu défavorisé ; la fréquence de puisards et le type et le nombre de la ressource ainsi que la prévalence des maladies d'origine hydrique. Les coordonnées géographiques, la localisation, l'environnement immédiat et les caractéristiques de notre ~~site~~ zone d'étude sont décrits dans les annexes de ce travail.

32 campagnes d'échantillonnage ont été réalisées au cours de cette étude. Le tableau 1 fournit les données concernant le site de prélèvement, le nombre de campagne, la période d'échantillonnage, ainsi que le type d'eau souterraine.

Tableau 1 : Campagne d'échantillonnage des eaux souterraines.

Sites	Campagne	Période	Forage	Puits	Source	Total
Mont-Ngafula	2	Décembre 2021 Janvier 2022 (crue)	2	2	2	6
	2	Janvier-Février 2022 (étiage)				
Selembao	2	Décembre 2021—Janvier 2022 (crue)	2	2		
	2	Janvier – Février 2022 (étiage)	2	2	2	6
Total : 2	**8**	**4**	**4**	**4**	**4**	**12**

Au total, 8 campagnes d'échantillonnage ont été réalisées de Décembre 2021 à Février 2022 pendant les périodes des crues et d'étiages dans 4 forages, 4 puits et 4 sources répartis dans 2 Communes de la ville de Kinshasa (Mont-Ngafula, Selembao) et 4 quartiers (Ndjili-kilambu, Vermane, Libération, Ngafani).

La codification des sites échantillonnés se présente de la manière suivante :

Puits (non-aménagés) :

- Selembao (2) : P1-P2

- Mont-Ngafula (2) : P3-P4

Sources :

- Selembao (2) : S1-S2
- Mont-Ngafula (2) : S3-S4

Forages (puits aménagés) :

- Selembao (2) : F1-F2
- Mont-Ngafula (2) : F3-F4

Les caractéristiques et l'environnement immédiat des différents points d'eaux échantillonnés au cours de cette étude sont illustrés dans les figures (annexe).

II.2. Analyses physicochimiques

Les paramètres physicochimiques (température (T°), conductivité électrique (CE), pH, oxygène dissous (O_2) ont été mesurés *in situ* à l'aide d'une sonde portative multi-paramètre de marque (HQ40D, Allemagne). Après le traitement des eaux souterraines par la solution de l'hypochlorite de sodium, les mêmes paramètres ont été mesurés. Par contre, la turbidité a été mesurée à l'aide d'un turbidimètre de marque (WGZ-1B, Allemagne) avant et après traitement.

II.3. Analyses microbiologiques

Les bactéries indicatrices de la contamination fécale (E. *coli*, Ent.) ainsi que les germes aérobies mésophiles et les *Pseudomonas* ont été quantifiés dans les échantillons d'eaux selon les méthodes standards internationaux pour la détermination de la qualité de l'eau en utilisant la méthode de filtration sur membrane (APHA, 2005). Brièvement, pour chaque échantillon, 100 mL d'eau ont été filtrés à travers un papier filtre de 0,45 mm de diamètre de marque (Sartorius Stedim, de la biotechnologie, Allemagne), et placés sur différents milieux de culture sélectifs (Biolife, Italiana), en utilisant les conditions opératoires suivantes :

- Pour E. *coli* : milieu de culture Tryptone Soya Agar (TSA) incubé à 37 °C pendant 4 heures et transféré à Tryptone Bile Agar X-Glucuronide (TBX) à 44 °C pendant 24 heures ;
- Pour ENT : Slanetz Bartley Agar (SBA), incubées à 44 °C pendant 48 heures et transférés dans Bile Aesculine Agar (BAA) à 44° C pendant 4 heures ;
- Pour *Pseudomonas* : *Pseudomonas* Sélective Agar (PSA), incubés à 35 °C pendant 24 heures ;

- Pour Germes aérobies mésophiles : Plant Cont Agar (PCA), incubés à pendant 48 h. Les résultats sont exprimés en unités formant colonies par 100 mL d'eau (UFC 100 mL^{-1}) avant et après traitement avec la solution d'hypochlorite de sodium. La reproductibilité de l'ensemble de la procédure expérimentale a été répétée trois fois. Une eau achetée dans un supermarché a servi de témoin (T).

III. RESULTATS ET DISCUSSION

III.1. Paramètres physicochimiques avant et après traitement

III.1.1. Période de crue, commune de Selembao

Les paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue sont décrits dans les tableaux ci-dessous.

Tableau 2. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 1, dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	CRUE 1									
CODE	T (°C)		C.E (µS/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turbidité (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S1	26,6	22.2	506	733	5.39	6.58	3.30	3.98	4.5	4.00
S2	27.9	22.4	318	946	4.97	5.94	4.54	5.21	5.6	4.99
P1	27.6	22.9	400	746	5.7	6.12	3.67	5.18	5.1	4.90
P2	28.3	21.4	85	624	5.59	6.00	2.85	3.99	5.5	4.88
F1	25.8	22.7	97	534	4.9	5.55	7.31	7.82	2.3	3.66
F2	27.9	22.4	225	432	4.59	6.79	6.21	6.77	2.7	3.87

Tableau 3. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 2, dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	CRUE 2									
CODE	T (°C)		C.E (µS/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turbidité (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S1	26.8	24.3	477	488	5.27	6.22	3.21	3.76	4.7	4.22
S2	26.9	24.2	321	317	4.88	6.07	4.32	5.18	5.0	4.77
P1	27.3	24.7	376	389	5.23	5.95	3.55	4.24	5.9	3.98
P2	27.1	24.9	76	69	5.32	6.57	3.04	3.02	5.2	3.99
F1	28.0	25.2	86	78	5.02	5.97	7.22	7.88	3.6	2.98
F2	26.5	25.0	199	201	4.44	5.69	6.99	6.86	3.4	2.55

Les paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement sont conformes aux normes de l'OMS pour la majorité des échantillons pendant la période de crue pour les sites de la commune de Selembao. Par ailleurs, le traitement de ces eaux par la solution d'hypochlorite a provoqué une légère augmentation du pH, de la CE et de l'oxygène dissous. Cela constitue un avantage dans la perspective du respect de la norme.

III.1.2. Période de crue, commune de Mont-Ngafula

Les résultats de paramètres physicochimiques des eaux avant et après traitement par la solution d'hypochlorite de sodium durant la période de crue sont présentés dans les tableaux 4 suivants.

Tableau 4. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 1, commune de de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	CRUE 1									
CODE	T (°C)		C.E (µs/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turb (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S3	27.5	25.2	1128	2157	5.30	6.21	4.24	4.76	1.21	0.92
S4	28.1	25.7	43	219	5.84	6.76	5.00	5.8	5.47	4.20
P3	27.2	25.6	1214	1930	6.80	7.01	2.50	2.90	0.96	0.89
P4	28.4	25.6	494	845	6.69	6.99	3.96	4.00	2.12	0.79
F3	27.5	25.4	350	978	5.59	6.68	5.17	5.22	0.98	0.88
F4	28.7	25.5	89	197	5.84	6.57	4.99	5.18	1.01	0.66

Tableau 4. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 2, commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	CRUE 2									
CODE	T (°C)		C.E (µs/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turb (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S3	28.2	28.2	126	496	5.45	6.00	5.02	6.98	1.38	0.99
S4	28.2	28.3	41	358	6.10	6.47	5.61	7.01	5.18	3.44
P3	28.9	28.3	1204	1490	6.48	6.85	3.41	6.50	2.17	1.01
P4	28.0	28.2	505	871	6.27	6.59	4.37	6.99	3.29	2.00
F3	29.2	28.0	345	972	5.11	6.58	5.34	7.23	1.11	0.87
F4	29.5	28.1	91	470	5.25	6.25	5.15	7.12	1.25	0.77

Dans les sites de la commune de Mont-Ngafula, les échantillons ont présenté des bonnes valeurs des paramètres physicochimiques en rapport avec les normes OMS. On constate, cependant une augmentation sensible de CE, O2 dissous après traitement et une baisse de la turbidité.

Entre les deux communes, le traitement a plus amélioré les paramètres des sites de la commune de Mont- Ngafula.

III.1.3. Période d'étiage, commune de Selembao

Les paramètres physicochimiques des eaux durant la période d'étiage pour les sites de la commune Selembao sont présentés dans les tableaux 5 et 6 suivants

Tableau 5. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 1 dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	ETIAGE 1									
CODE	T (°C)		C.E (µs/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turb (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S1	26.5	25.7	720	566	5.45	5.98	3.55	3.77	3.2	2.01
S2	26.9	25.8	470	489	4.89	5.23	4.87	4.89	3.22	2.88
P1	26.1	25.6	542	623	6.01	6.34	3.99	4.09	2.56	2.07
P2	27.2	25.6	165	188	5.70	5.88	2.77	3.92	3.45	2.96
F1	26.0	25.8	233	178	5.30	5.93	6.99	6.99	2.8	2.0
F2	27.6	25.9	389	344	4.83	5.33	7.02	7.55	2.9	2.5

Tableau 6. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 2 dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	ETIAGE 2									
CODE	T (°C)		C.E (µS/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turb (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S1	27.5	24.5	566	675	5.55	5.99	3.88	4.00	3.00	2.66
S2	28.0	24.3	489	532	4.99	5.85	5.00	5.15	2.48	2.17
P1	27.3	24.5	623	821	5.98	6.12	3.78	4.18	2.44	2.00
P2	28.4	24.3	188	310	5.79	6.05	3.01	3.99	3.05	2.78
F1	29.5	24.1	178	356	5.69	6.17	6.79	7.12	2.2	1.77
F2	27.9	24.5	344	500	5.02	5.89	7.00	7.44	2.1	1.88

Durant l'étiage, les valeurs de CE sont très élevées par rapport à la période de crue avant et après traitement. Le constat est que les de responsables des puits non- aménagés ont l'habitude d'introduire du sel (NaCl) ou autres produits directement dans le puit d'eau comme mode de désinfection. Cependant, les paramètres mesurés sont conformes aux normes de l'OMS pour la qualité des eaux de boisson.

La technologie NANO-WATA a pour la plupart de cas améliorée la qualité physicochimique de ces eaux.

III.1.4. Période d'étiage, commune de Mont-Ngafula

Les tableaux 7 et 8 présentent les valeurs moyennes des paramètres physicochimiques des eaux avant et après traitement pendant l'étiage dans les sites de la commune de Mont-Ngafula.

Tableau 7. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 1 dans la commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	ETIAGE 1									
CODE	T (°C)		C.E (µS/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turb (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S3	26.2	25.4	1300	1543	5.33	5.99	4.33	4.77	4.23	3.11
S4	27.5	25.0	169	342	5.78	6.01	4.90	5.20	1.45	0.99
P3	28.0	25.4	1500	1800	5.89	6.05	2.98	3.45	2.04	1.02
P4	26.9	25.2	900	1204	5.70	6.17	4.01	4.99	3.11	2.16
F3	27.8	25.2	241	365	5.57	6.19	5.00	5.87	3.44	2.65
F4	26.6	25.6	268	431	5.79	6.28	6.04	6.47	3.65	2.97

Tableau 8. Paramètres physicochimiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 2 dans la commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT NGAFULA	ETIAGE 2									
CODE	Température (°C)		C.E (µs/cm)		pH		O_2 (mg/L)		Turb (UNT)	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
S3	26.2	27.2	987	1200	5.66	6.15	3.99	4.02	0.18	0.09
S4	27.5	27.5	215	342	5.99	6.68	4.78	5.23	4.00	3.07
P3	28.0	27.0	972	988	5.55	6.49	2.87	3.55	2.00	1.19
P4	26.9	27.5	673	765	5.30	6.07	3.77	4.22	2.99	1.98
F3	27.8	27.0	432	543	5.8	6.59	4.55	5.00	3.01	2.31
F4	26,6	27,2	328	299	5,7	6,88	5,88	6,14	3,00	2,00

Le site de Mont-Ngafula est caractérisé par des valeurs des paramètres physicochimiques conforme aux normes de l'OMS pour la plupart durant cette période. Les échantillons de S3 ont présenté des valeurs de CE très élevées. Cela se justifie par sa position en aval des activités anthropiques. Les eaux des puits P3 et P4 ont présenté aussi des valeurs de CE élevées.

III.2. Analyses microbiologiques

III.2.1. Période de crue, commune de Selembao

Les analyses microbiologiques des eaux avant et après traitement pendant la période de crue des sites de la commune de Selembao sont présentées dans les tableaux 9 et 10 ci-dessous.

Tableau 9. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 1 dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	CRUE 1							
CODE	*E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})		ENT (UFC x 100mL^{-1})		Pseudo (UFC x 100mL-1)		PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P1	100	0	500	43	250	0	90	0
P2	1000	25	4000	99	320	29	1120	12
S1	160	0	250	0	180	0	800	8
S2	50	0	80	0	0	0	1700	0
F1	230	0	170	0	0	0	250	0
F2	10	0	0	0	0	0	50	0
T	0		0		0		4	

Tableau 10. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 2 dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	CRUE 2							
CODE	*E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})		ENT (UFC x 100mL^{-1})		Pseudo (UFC x 100mL-1)		PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P3	254	2	830	45	180	18	54	0
P4	1200	14	3750	56	640	7	750	12
S3	80	0	190	0	76	0	410	0
S4	22	0	48	0	0	0	0	0
F3	60	0	130	0	8	0	28	0
F4	0	0	12	0	5	0	10	0
T	0		0		0		4	

Les analyses microbiologiques des eaux des puits aménagés et la plupart de source après traitement ont présenté des valeurs conforme aux normes de l'OMS (**E. *Coli* (0 UFC x 100mL^{-1}).** Pour les puits non-aménagés, les valeurs trouvées sont hors normes pour les deux périodes.

III.2.2. Période de crue, commune de Mont-Ngafula

Les tableaux 11 et12 présentent les résultats des analyses microbiologiques des eaux avant et après traitement durant la crue dans le site de Mont Ngafula

Tableau 11 : Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 1 dans la commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	CRUE 1							
CODE	*E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})		ENT (UFC x 100mL^{-1})		Pseudo (UFC x 100mL-1)		PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P1	10000	26	4000	0	40	0	2100	120
P2	70	0	30	0	10	0	100	2
S1	4500	10	30	1	20	0	100000	350
S2	100	0	0	0	350	20	1000	30
F1	10	0	10	0	10	0	116	0
F2	20	0	15	0	10	0	150	18
T	0		0		0		4	

Tableau 12. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période de crue 2 dans la commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	CRUE 2							
CODE	*E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})		ENT (UFC x 100mL^{-1})		Pseudo (UFC x 100mL-1)		PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P3	210	0	113	3	1890	76	0	0
P4	1200	25	600	21	0	0	35	0
S3	800	0	300	2	0	0	0	0
S4	112	0	45	0	0	0	7	0
F3	0	0	20	0	0	0	0	0
F4	19	0	0	0	7	0	0	0
T	0		0		0		4	

Presque les mêmes observations que dans le cas de Selembao pour les non-aménagés.

III.2.3. Période d'étiage, commune de Selembao

Les résultats des analyses microbiologiques des eaux avant et après traitement durant l'étiage sont présentés dans les tableaux 13 et 14 ci-dessous(étiage).

Tableau 13. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 1 dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	ETIAGE 1							
CODE	*E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})		ENT (UFC x 100mL^{-1})		Pseudo (UFC x 100mL^{-1})		PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P1	98	5	37	6	180	47	56	12
P2	780	68	430	31	210	18	780	75
S1	45	0	8	0	75	7	270	52
S2	0	0	7	0	14	0	150	5
F1	32	0	2	0	1	0	40	0
F2	0	0	22	0	3	0	12	0
T	0		0		0		4	

Tableau 14. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 2 dans la commune de Selembao.

SITES DE SELEMBAO	**ETIAGE 2**							
CODE	***E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})**		**ENT (UFC x 100mL^{-1})**		**Pseudo (UFC x 100mL^{-1})**		**PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})**	
	Avant	**Après**	**Avant**	**Après**	**Avant**	**Après**	**Avant**	**Après**
P1	124	15	76	19	45	4	50	10
P2	685	126	345	137	78	12	162	29
S1	75	12	28	2	15	2	7	0
S2	7	0	4	0	1	0	24	0
F1	16	0	0	0	0	0	12	0
F2	0	0	5	0	0	0	15	0
T	0		0		0		4	

Idem comme précédemment.

III.2.4. Période d'étiage, commune de Mont-Ngafula.

La quantification microbiologique des sites dans la commune de Mont Ngafula est décrite dans les tableaux 15 et 16 ci-dessous durant l'étiage.

Tableau 15. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 1 dans la commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	**ETIAGE 1**							
CODE	***E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})**		**ENT (UFC x 100mL^{-1})**		**Pseudo (UFC x 100mL^{-1})**		**PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})**	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P3	1000	240	430	18	210	43	167	17
P4	34	12	19	0	8	0	6	1
S3	1800	280	600	45	123	11	8	0
S4	48	0	0	0	4	0	4	0
F3	0	0	3	0	0	0	9	0
F4	0	0	0	0	0	0	0	0
T	0		0		0		4	

Tableau 16. Paramètres microbiologiques des eaux souterraines avant et après traitement durant la période d'étiage 2 dans la commune de Mont-Ngafula.

SITES DE MONT-NGAFULA	**ETIAGE 2**							
CODE	***E. Coli* (UFC x 100mL^{-1})**		**ENT (UFC x 100mL^{-1})**		**Pseudo (UFC x 100mL^{-1})**		**PCA (UFC) (UFC x 100mL^{-1})**	
	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après	Avant	Après
P3	1230	276	550	78	67	16	45	7
P4	78	7	35	3	0	0	19	0
S3	790	88	432	118	45	2	47	9
S4	43	5	0	0	21	0	7	0
F3	2	0	0	0	4	0	14	0
F4	0	0	6	0	0	0	7	0
T	0		0		0		4	

Idem comme précédemment.

III. CONCLUSION

Les campagnes réalisées au cours de cette étude ont montré d'une manière générale que les eaux échantillonnées présentent de contamination fécale importantes et qu'elles sont impropres à la consommation humaine et usage domestique. Un traitement de désinfection est ainsi vivement demandé par la population pour couvrir leurs besoins en eau potable.

En fonction des types de sel vendu sur le marché de Kinshasa et de l'eau utilisée pour la préparation de la solution saumure, la concentration d'hypochlorite produite par les 2 versions des appareils NANO WATA variée de 6 à 7,5 gL-1

Du point de vu traitement de l'eau par la solution d'hypochlorite produit par la technologie NANO-WATA, les paramètres physicochimiques ont été augmentés sauf la turbidité après traitement, mais reste pour la majorité des échantillons conformes aux normes de l'OMS avant et après traitement. Les paramètres microbiologiques des eaux des puits non-aménagés ont présenté dans l'ensemble une pollution plus marquée comparativement à celle des sources et des puits aménagés (Forage). Le traitement avec la solution d'hypochlorite produite par l'appareil NANO-WATA a permis une très bonne désinfection de ces eaux, excepté les eaux des puits non-aménagés dont les concentrations en germes bactériennes notamment *E. Coli* et ENT) dépassent 300 UFC 100 mL^{-1}. Ces dernières exigeraient une stœchiométrie adaptée entre la solution de l'hypochlorite et la quantité d'eau à traiter.

Les appareils NANO-WATA (manuel et automatisé) ont très bien fonctionné lorsqu'ils étaient connectés au courant électrique. La version automatisé n'a pas fonctionné très bien lorsque connecté au dispositif solaire (voir annexe 1). Nous recommandant fortement l'optimisation de la version automatisé avec le module solaire qui sera très utilisée vu que plus de 90% des ménages vivants en milieux ruraux et périurbains de la RDC manque du courant électrique.

A l'échelle de son utilisation pour cette étude, les résultats obtenus nous permettent d'envisager l'application de cette technologie à l'échelle provinciale et les perspectives pour l'échelle nationale. De ce fait les contacts avec les autorités provinciales et nationales dans les domaines de la santé et de l'environnement doivent être fortement encouragés et menées**. **Le Prof. Crispin Mulaji de l'Université de Kinshasa qui est responsable de ce mandat a commencé à prendre les contacts avec les autorités nationales des ministères de la santé et de l'environnement. Les issues de ces contacts seront communiquées aux mandataires de la fondation ANTENNA.

REFERENCES

1. APHA, AWWA, WEF. Part 9000: Microbial examination. In Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater; Rice, E. W.; Baird, R. B.; Eaton, A. D.; and Clesceri, L. S., Eds.; American

Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF): Washington, DC, 2012.

2. Aquaref, 2011.Guide des prescriptions techniques pour la surveillance physico-chimique des milieux aquatiques;
3. Bricha .S. ;Ounine K ;Oulkheir S. ;El haloui N;Atterassi B.2007.Etude de la qualité physicochimique et bacteriologique de la nappe phreatique M'nasra(Maroc).Afr.Sci.3,391-404.
4. Kapembo M.L., Dhafer Mohammed M. Al Salah, Florian Thevenon, Amandine Laffite, Mathieu K. Bokolo, Crispin K. Mulaji, Pius T. Mpiana & John Poté. (2019): Prevalence of water-related diseases and groundwater (drinking-water) contamination in the suburban municipality of Mont Ngafula, Kinshasa (Democratic Republic of the Congo), Journal of Environmental Science and Health, Part A, DOI: 10.1080/10934529.2019.1596702
5. Kapembo, M. L.; Laffite, A.; Bokolo, M. K.; Mbanga, A. L.; Maya-Vangua, M. M.; Otamonga, J.-P.; Mulaji, C. K.; Mpiana, P. T.; Wildi, W.; Pote, J. Evaluation of Water Quality from Suburban Shallow Wells under Tropical Conditions according to the Seasonal Variation, Bumbu, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. Expo. Health 2016, 8, 487–496. DOI: 10.1007/s12403-016-0213-y.
6. Kayembe, J. M.; Thevenon, F.; Laffite, A.; Sivalingam, P.; Ngelinkoto, P.; Mulaji, C. K.; Otamonga, J.-P.; Mubedi, J. I.; Pote, J. High Levels of Faecal Contamination in Drinking Groundwater and Recreational Water Due to Poor Sanitation, in the Sub-Rural Neighbourhoods of Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. Int. J. Hyg. Environ. Health 2018, 221, 400–408. DOI: 10.1016/j.ijheh.2018.01.003.
7. Landreau, L. Pollution des Eaux par les Nitrates. Eau et Dev. 1990, 7, 1–4.
8. Kouam Kemnogne G.R, Vers une gestion rationnelle de l'eau dans une situation complexe d'urbanisation anarchique dans un Pays en Développement : Cas du bassin versant de l'abieague (Yaoundé-Cameroun). Thèse de doctorat 2013.
9. Poté, J.; Haller, L.; Kottelat, R.; Sastre, V.; Arpagaus, P.; Wildi, W. Persistence and Growth of Faecal Culturable Bacterial Indicators in Water Column and Sediments of Vidy Bay, Lake Geneva, Switzerland. J. Environ. Sci. 2009, 21, 62–69. DOI: 10.1016/S1001-0742(09)60012-7.
10. United Nations Environment Programme (UNEP), (2011). Emerging issues in our global environment: postconflict environmental assessment in Democratic Republic of the Congo. Synthesis for Policy Makers (United Nations Environment Program).
11. WHO. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First Addendum; WHO: Geneva, Switzerland, 2017.

Kinshasa, le 12 avril 2022

Pour l'Université de Kinshasa

Prof. Dr. Crispin Mulaji

Vu pour accord de la Fondation ANTENNA

Mariana Veauvy

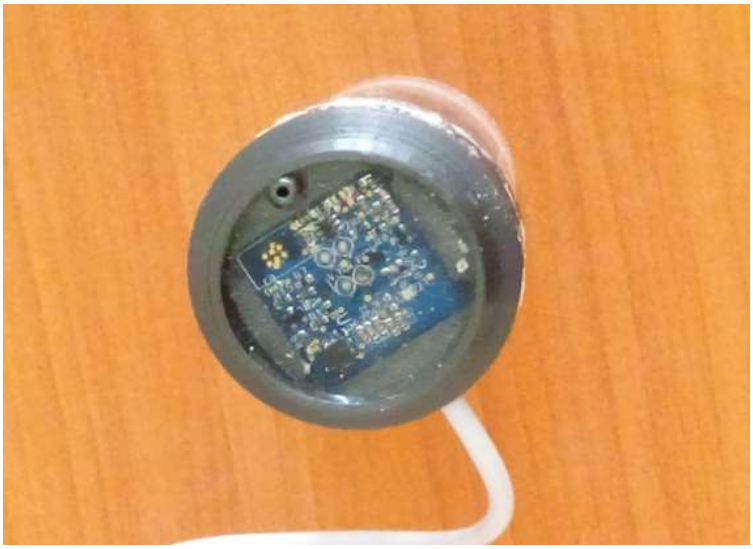
Annexe -1. Les appareils suivants ont été testés avec les résultats suivants :

1. NANO-WATA mécanique sans dispositif électronique-manuel (Fig.1A). Cet appareil fonctionne très bien par branchement au courant électrique. Il est question de mettre le chronomètre et vérifier les concentrations de l'hypochlorite. Avec cet appareil, les concentrations de 6 à 7.5 g L^{-1} de l'hypochlorite sont atteint après 22 ± 2 minutes.

Fig. 1A. Variante manuel

2. NANO-WATA avec dispositif électronique, automatisé (Fig. 2A). Cet appareil fonctionne très bien par branchement au courant électrique. Cet appareil permet d'arrêter l'électrolyse une fois que la concentration de 6 g L^{-1} de l'hypochlorite est atteinte. D'après nos mesures, après le signal de fin d'électrolyse, les concentrations d'hypochlorite produites donnait les valeurs de 6 à 7.5 g L^{-1}.

Fig. 2A. Variante électronique, automatisé



3. Les deux appareils décrits ci-dessus, sont constitués d'un dispositif de fonctionnement avec kit solaire. L'appareil manuel (Fig.3A) fonctionne très bien avec le dispositif kit solaire en donnant les mêmes valeurs de la solution d'hypochlorite 6 à 7.5 g L^{-1} après 22 minutes. Tandis l'appareil NANO-WATA avec dispositif électronique (clignotant) ne fonctionne pas avec le dispositif solaire (Fig.4).

Fig. 3A. Variante manuel avec kit solaire

Fig. 4. Variante électronique /automatisé avec kit solaire

Annexe-2. Galerie photos