

Évaluation de l'efficacité du traitement des eaux souterraines par électrolyse du chlorure de sodium dans les quartiers péri-urbains de la ville de Kinshasa, RD Congo

Assunção Duarte Pais Jessica

27 février 2025

Sous la supervision du Dr. Poté



Master en sciences de l'environnement

Institut des sciences de
l'environnement

Université de Genève

Sommaire

01

Introduction

02

Objectifs et questions de
recherche

03

Méthodologie

04

Résultats scientifiques

05

Résultats sociaux

06

Discussion

07

Conclusion

08

Annexes

01

INTRODUCTION

Contexte

01

Dans les pays en développement, la contamination de l'eau par des pathogènes cause **4 milliards** de maladies hydriques et **3.4 millions** de décès par an.¹

Contexte

02

En RDC, malgré 52 % des réserves d'eau de surface du continent, plus de 75 % de la population n'a pas accès à l'eau potable.²

Contexte

03

Une gouvernance défailante, un sous-financement et une surveillance insuffisante compromettent la gestion de l'eau et aggravent sa pollution.^{3,4} Le tout est aggravé par les comportements à risque des habitants.^{5,6,7}



Figure 1 : Rivière encombrée de déchets.

02

OBJECTIFS ET QUESTIONS DE RECHERCHE

Objectifs de l'étude

Répondre à la recommandation de Kapembo et al. (2016) en évaluant la purification de l'eau au NaOCl par la **technologie WATA**, examiner **son adéquation** aux conditions locales de Kinshasa, analyser la contamination des eaux souterraines par les **métaux** et les risques sanitaires associés — un aspect non abordé dans les études précédentes — et explorer les facteurs ayant un impact sur la **durabilité** du système, en offrant des idées et des recommandations pour relever les défis qui se posent.



Questions de recherche

1. La technologie est-elle efficace dans l'élimination des pathogènes microbiens responsables des maladies hydriques, et cette efficacité varie-t-elle selon les saisons ?
2. Quelles sont les caractéristiques de l'eau avant et après traitement (paramètres physico-chimiques, ioniques, métalliques) ? Sont-elles compatibles avec l'usage de la technologie et les normes en vigueur ?
3. La technologie modifie-t-elle la concentration des contaminants et composés (métaux, ions) après traitement ?
4. Si la technologie est adaptée au contexte local et s'avère efficace, quels sont les défis et opportunités influençant la durabilité du projet ?



03

MÉTHODOLOGIE

- I. Bactériologie
- II. Paramètres physico-chimiques
- III. Ions
- IV. Métaux
- V. Rencontres
- VI. Aspects économiques



Échantillonnage & Normes



- Bumbu
- Mont-Ngafula



Saison sèche (Juillet-Août)

- Avant chloration : 2023-2024
- Après chloration : 2024

Saison des pluies (Octobre-Décembre)

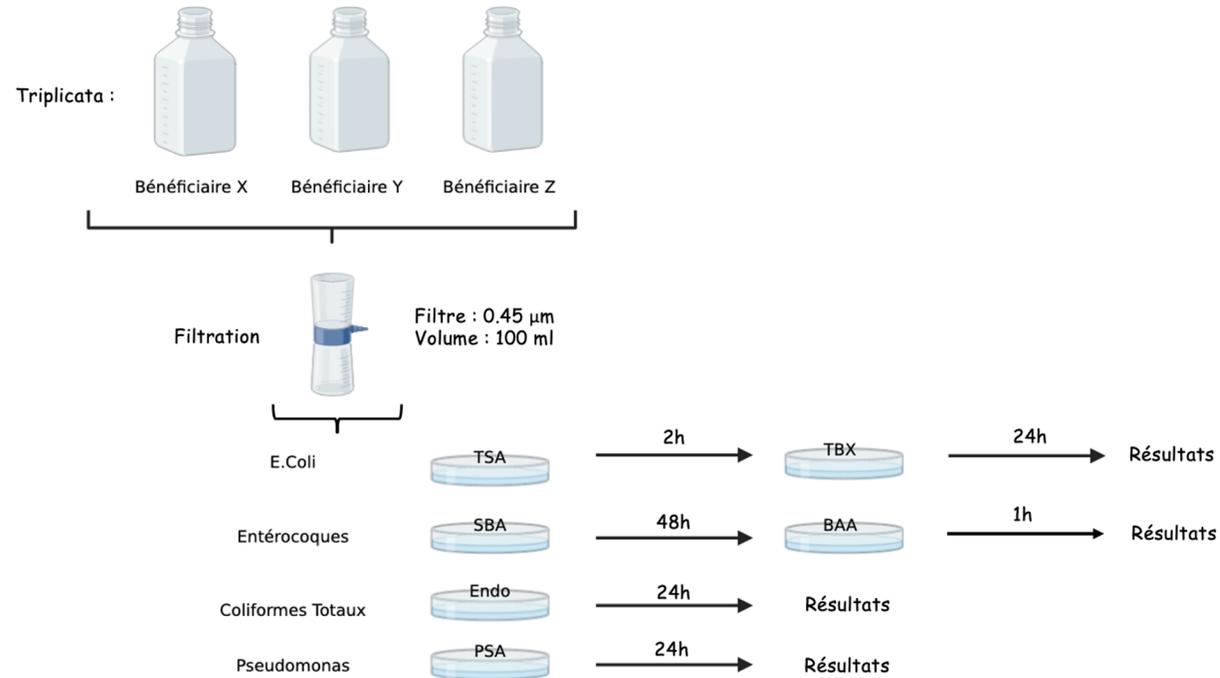
- Avant chloration : 2023
- Après chloration : 2024



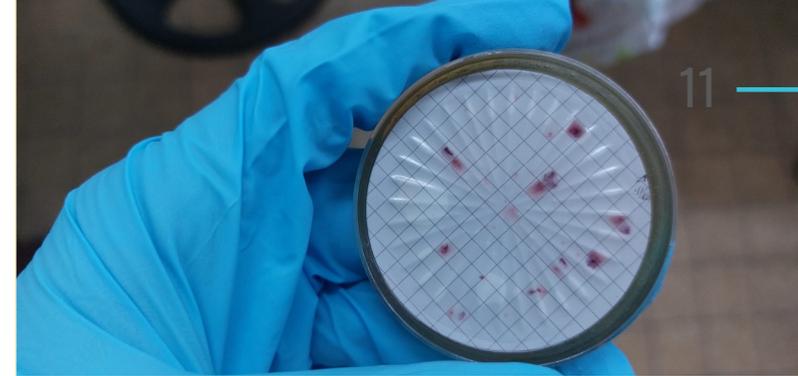
- Normes OMS
- Normes Suisse
- Normes Européenes

3.1 Bactériologie

- **Méthode décrite par EPA/APHA** ⁸ → simple, efficace, économique



- Test sur bidon → total de bactéries
- Détection post-traitement : analyses pour identifier l'origine bactérienne



Escherichia coli

- FIB
- Contamination fécale récente

Entérocoques

- FIB
- Contamination fécale récente et ancienne

Coliformes totaux

- FIB
- Contamination par infiltration des eaux de surface

Pseudomonas

- Élargir spectre
- Pathogène opportuniste
- Infections, antibiorésistance

3.2. Les paramètres physico-chimiques

Choix de l'appareil

Sonde multiparamètre Multi 350i

- Simple
- Transportable
- Mesure de plusieurs paramètres en simultanés

Conditions d'analyse

- Triplicata de mesure
- *In situ*

Choix des paramètres

- **pH** : HOCl/OCl⁻, comportement des métaux
- **Température** : Influence le pouvoir désinfectant, décomposition
- **Oxygène dissous** : solubilité du chlore, micro-organisme, corrosion
- **Conductivité** : augmentation → sources de pollution



3.3. Les ions

Choix de l'appareil

Chromatographie ionique (Dionex, ICS-3000 et Integrion HPIC System)

- Économique
- Sensible
- Reproductible
- Analyse précise des concentrations

Conditions d'analyse

- Référence : LON-07
- Duplicata d'analyse
- Méthode : approche empirique + méthodes internes analogues à AFNOR T90-042 et ISO 14911

Choix des ions

Sur la base de Kapembo *et al.* ^{5,6,7} :

- **Cations** : Na⁺, K⁺
- **Anions** : PO₄³⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, NO₂⁻

⇒ Ajout de Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻ et NH₄⁺

3.4. Les métaux

Choix de l'appareil

Spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) (Agilent 7700 series)

- Rapide
- Détection à faible concentration
- Sensibilité accrue

Conditions d'analyse

- Référence : TMDA 61.3
- Standard : Merck IV + solution S
- Triplicata d'analyse
- Méthode décrite par Banze *et al.* ⁹ et Poté *et al.* ¹⁰

Choix des métaux

Sur la base de deux études :

- Contamination des sédiments fluviaux ¹¹ + des sols par les déchets solides ¹².

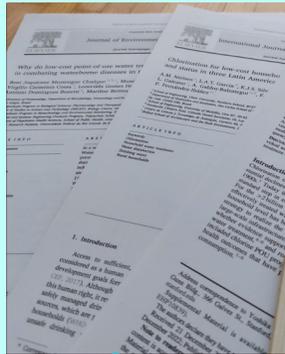
Métaux sélectionnés :

- Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, V, Zn

Risques sanitaires associés (selon Munene *et al.*)¹³

- HQ, HI, ILCR

3.5 Les rencontres



Revue de littérature

- Revue systématique
- Identification des points faibles récurrents dans les projets passés.
- Proposition de solutions basées sur la littérature lorsque possible.

HZ	Externe Hachem ... [EXTERNAL] Re: Pér...
	Externe Pierre-Gilles [EXTERNAL] NanoKin
RO	Externe rose oyema [EXTERNAL] Re: Re: D
RO	Externe rose oyema [EXTERNAL] Re: Re: D

Échange oral et verbal

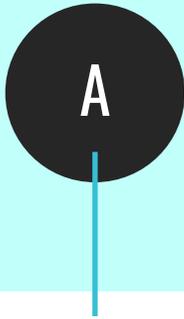
- Antenna
- WATALUX
- UNIKIN



Interview

- Questionnaire qualitatif semi-structuré
- 45 - 60 min
- CSN, habitants, fontainiers

3.5 Aspects économiques

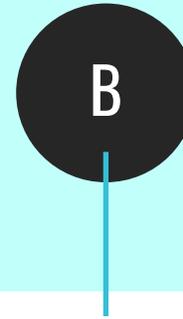


Construction du modèle :

- Selon le modèle d'UNICEF et CERADE ¹⁴
- Documents d'Antenna
- 4 équilibres (recouvrement croissant coûts)

Capacité de paiement :

- Prix acceptable de l'eau $\leq 3\%$ du revenu journalier ¹⁵



Analyse des coûts et accessibilité (appuyée sur les entretiens) :

- Comparer les coûts modélisés aux dépenses réelles de la population
- Vérifier si le prix reste accessible
- Identifier les économies potentielles

3.6 Limitations

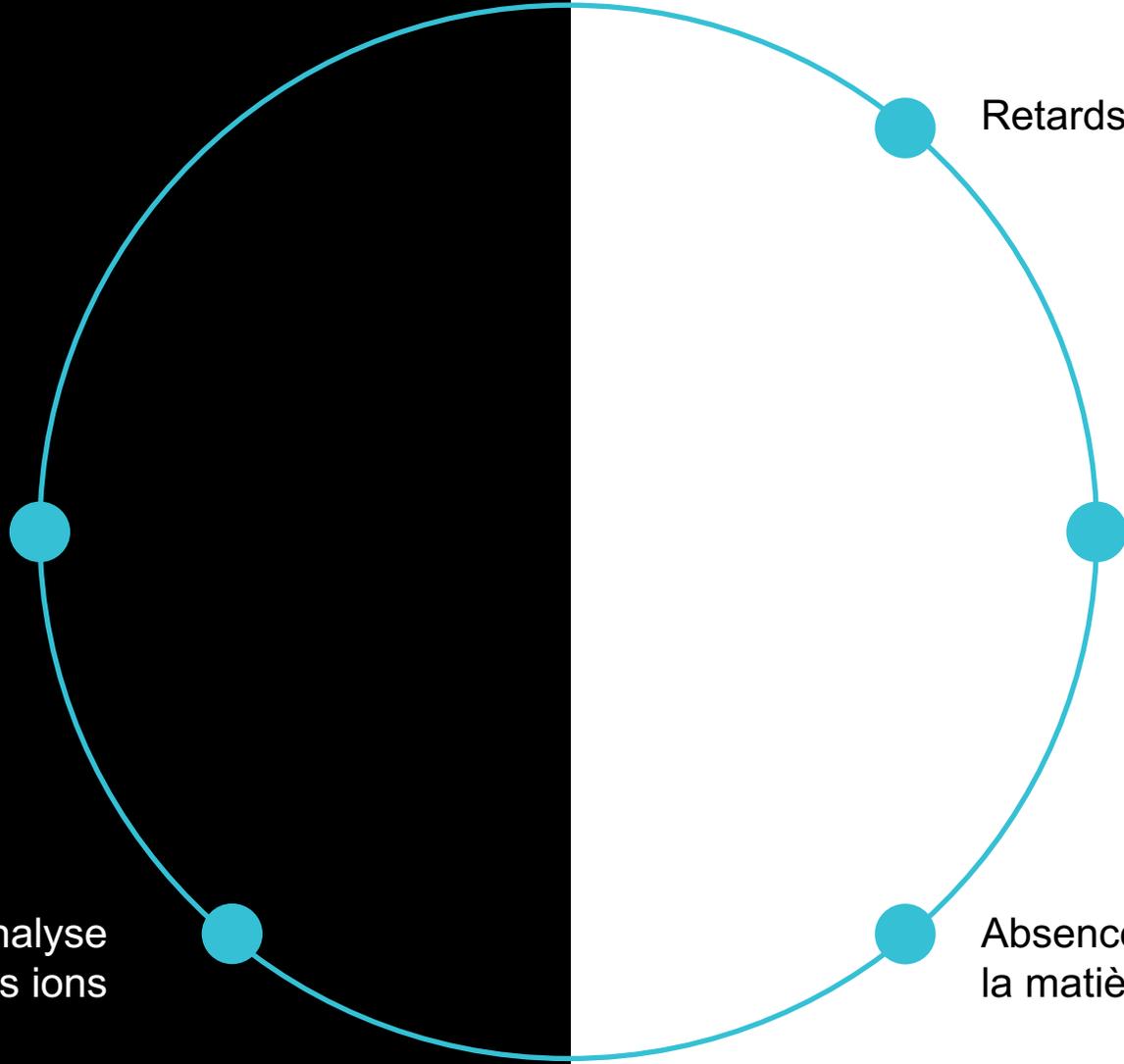
Limites statistiques en raison de la taille de l'échantillon

Problèmes avec l'analyse des ions

Retards dans la campagne d'analyse

Accès limité aux sites pour l'aspect social

Absence de matériel pour mesurer la matière organique et la turbidité



04

RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

- I. Bactériologie
- II. Physico-chimie
- III. Ions
- IV. Métaux

```
data_melted$Site <- gsub("Mont_Ngafula", "Mont")

data_melted$Moment_Site <- factor(paste(data_m

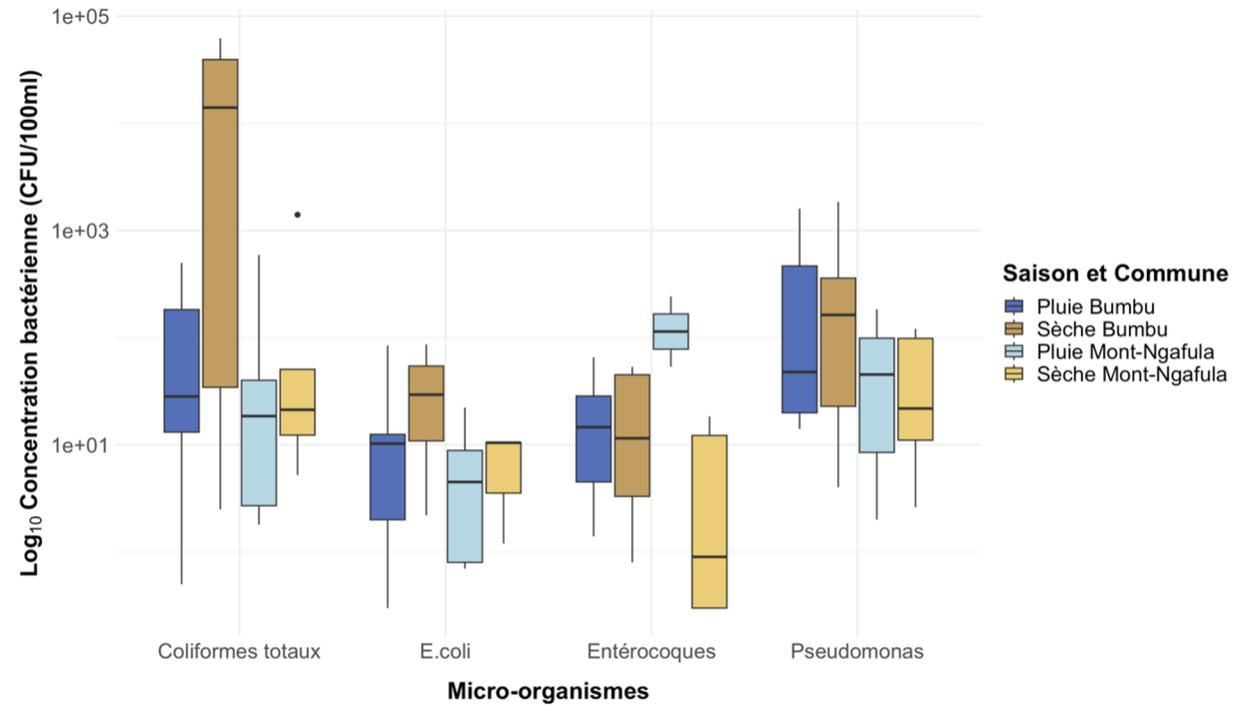
ggplot(data_melted, aes(x = Site, y = Conducti
  geom_boxplot() +
  labs(title = "Comparaison de la conductivité
        x = "Site",
        y = "Conductivité [µS/cm]",
        fill = "Moment") +
  scale_fill_manual(values = c( "Avant Bumbu"
                                "Après Bumbu"
                                "Avant Mont-Ng
                                "Après Mont-Ng

theme_minimal() +
theme(
  plot.title = element_text(size = 16), # Ta
  axis.title.x = element_text(size = 16, fac
  axis.title.y = element_text(size = 16, fac
  axis.text.x = element_text(size = 12), # 1
```

4.1. Bactériologie

- Saison sèche : concentrations généralement plus élevées.

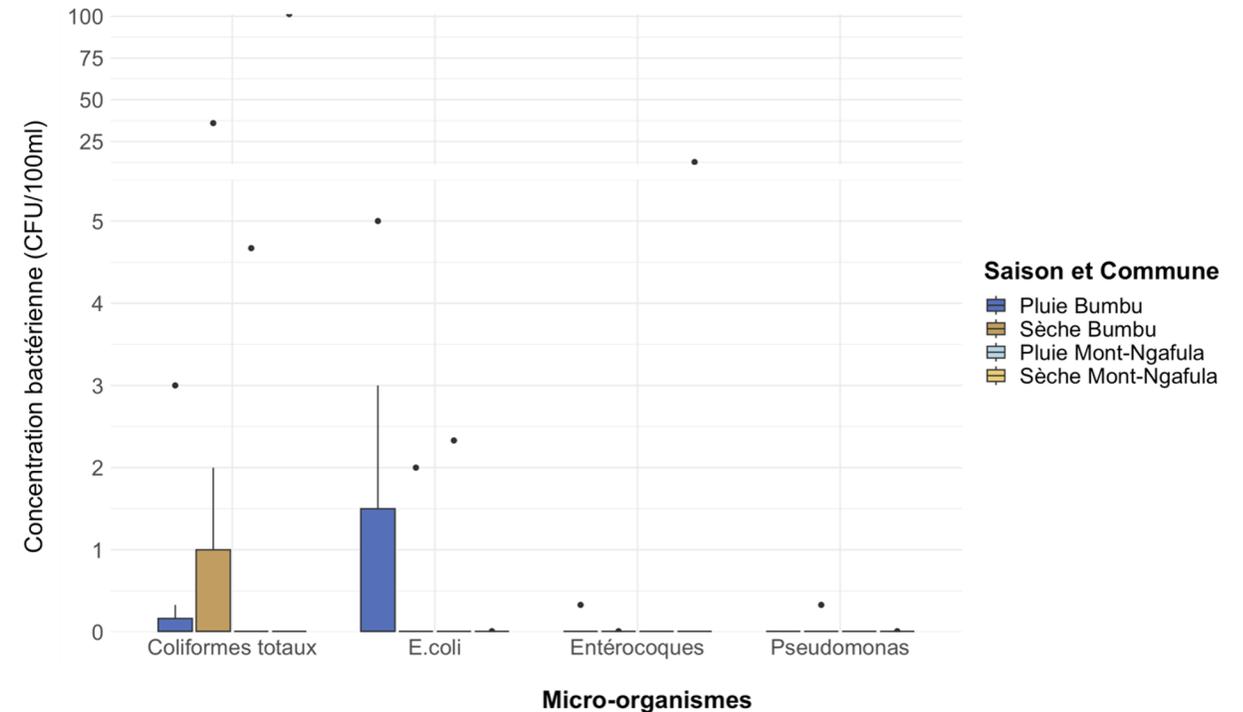
Figure 2 : Charge bactérienne au cours des deux saisons sur les 2 sites avant traitement.



4.1. Bactériologie

- Saison sèche : concentrations généralement plus élevées.
- Détection de $p < 0.05$ entre avant et après traitement pour la majorité des bactéries.
 ⇒ Pas d'influence majeure de la saison sur l'efficacité
- Détection de contaminations persistantes après traitement.

Figure 3 : Charge bactérienne au cours des deux saisons sur les 2 sites après traitement.



4.1. Bactériologie - suite

Origine de la contamination persistante :

- Erreur des fontainiers ou manque d'hygiène des bénéficiaires ?

⇒ Contamination chez *bénéficiaires* et *citerne*

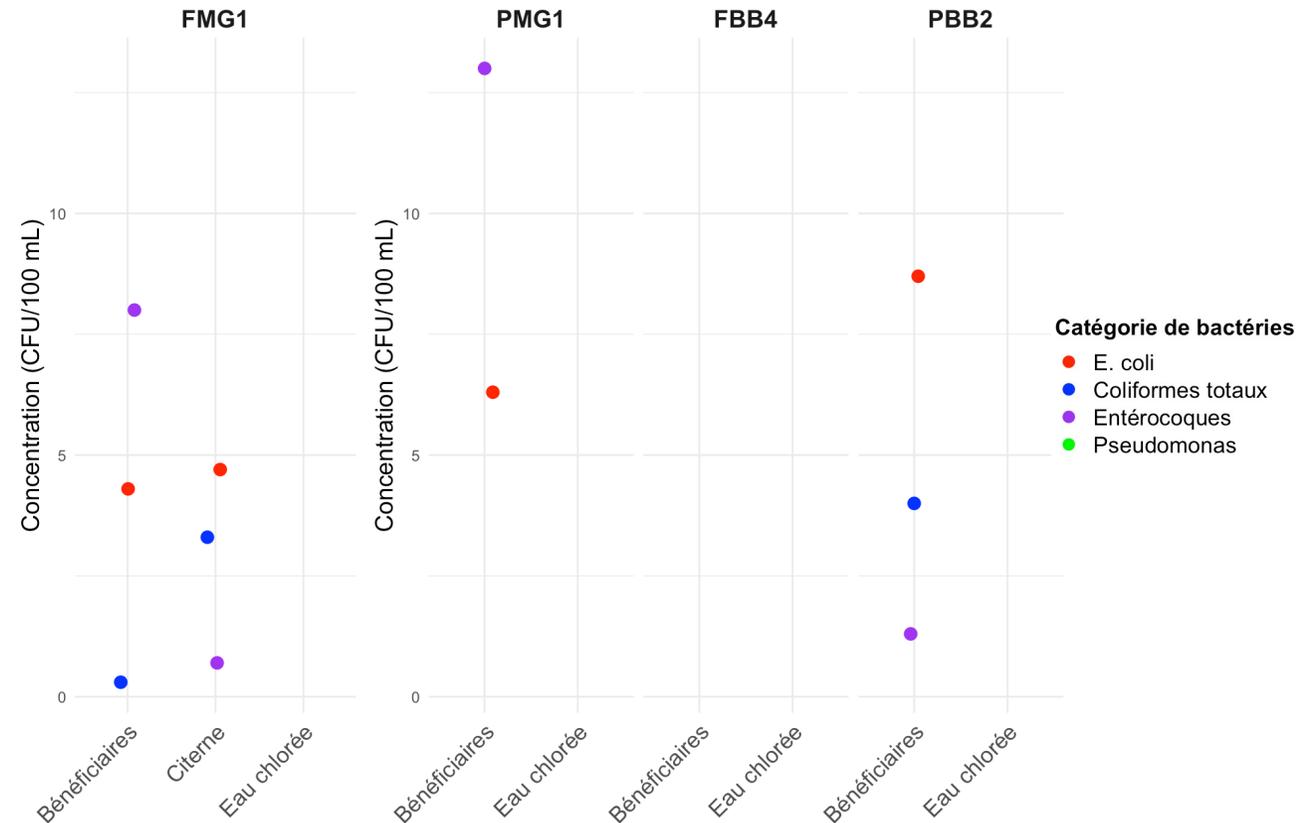


Figure 4 : Charge bactérienne à la saison sèche lors de la seconde campagne.
Bénéficiaire : eau chlorée des bidons des habitants.
Citerne : eau chlorée des citernes.
Eau chlorée : eau chlorée du captage, stockée en récipient propre (laboratoire).

4.1. Bactériologie - suite

Origine de la contamination persistante :

- Erreur des fontainiers ou manque d'hygiène des bénéficiaires ?

⇒ Contamination chez *bénéficiaires* et *citerne*

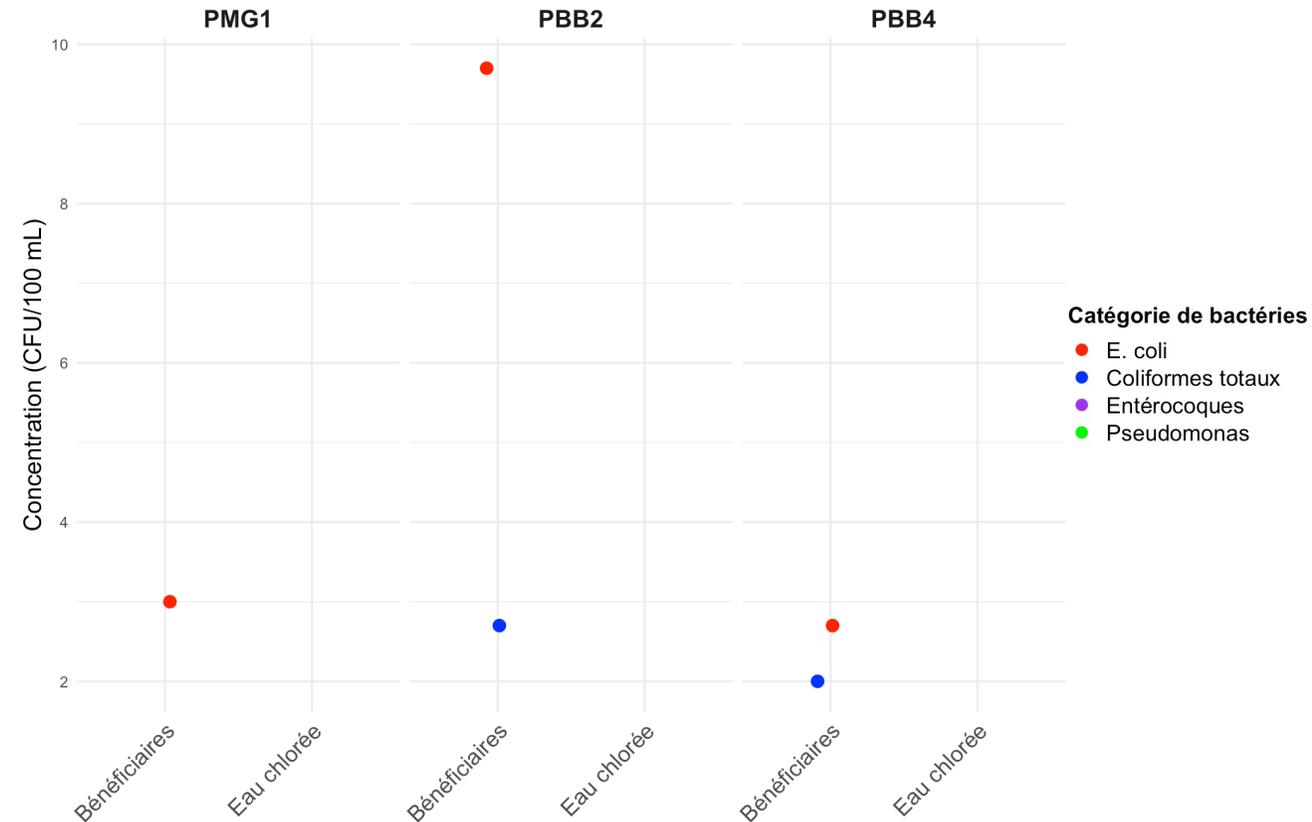


Figure 5 : Charge bactérienne à la saison des pluies lors de la seconde campagne.
Bénéficiaire : eau chlorée des bidons des habitants.
Citerne : eau chlorée des citernes.
Eau chlorée : eau chlorée du captage, stockée en récipient propre (laboratoire).

4.2. Physico-chimie

- Différence avant / après traitement généralement minimale ($< \pm 2$), sauf pour la conductivité.
- Mais à la saison des pluies : fluctuations avant/après plus marquées.
 $\Rightarrow p < 0.05$ détectées
- **Température** et **conductivité** : conformes aux normes
- **pH** et **oxygène dissous** : non conformes
 - pH majoritairement $< 6.5^a$
 - O_2 quelques mesures < 4 et $> 8^b$

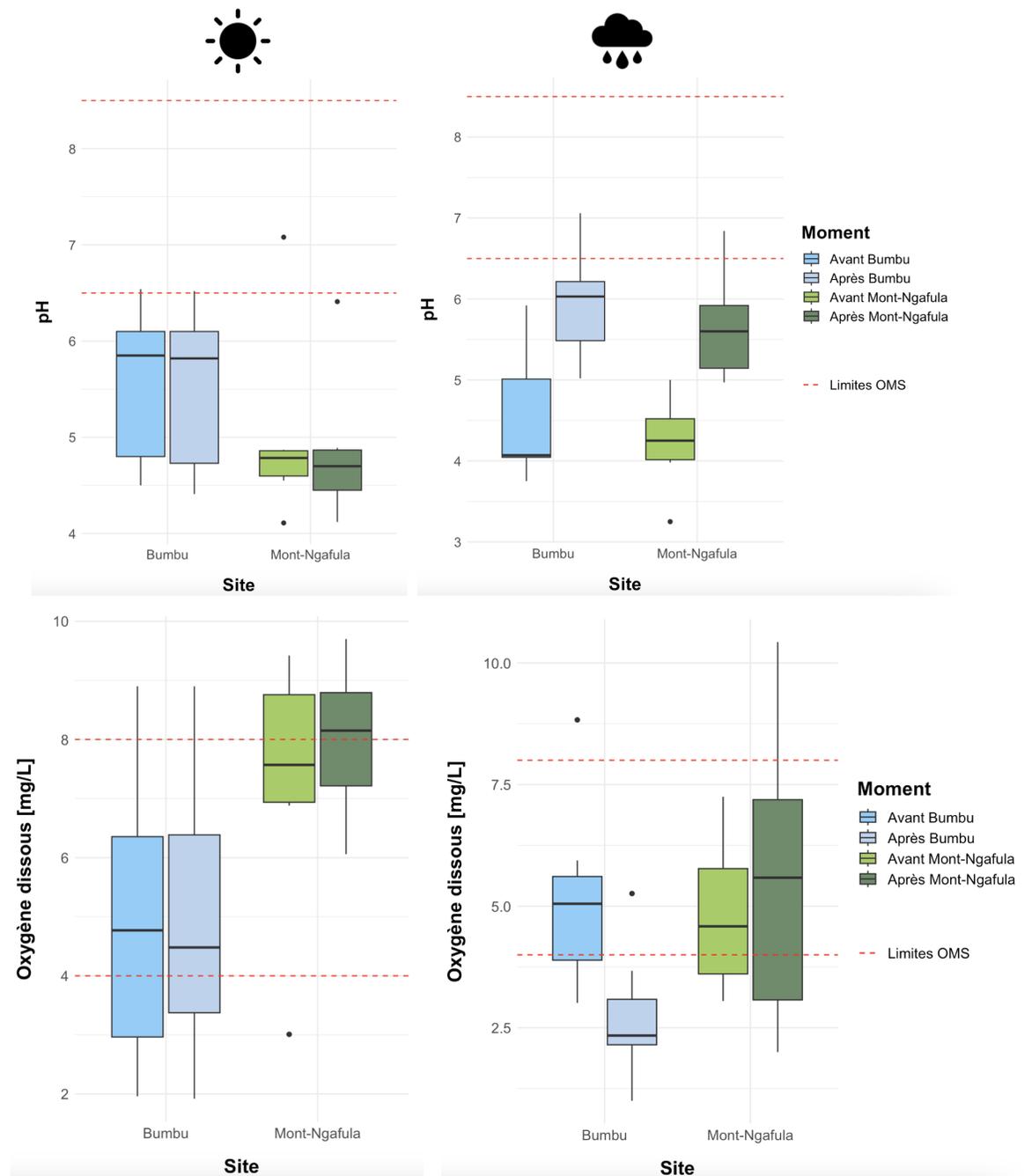


Figure 6 : Évolution de l'oxygène dissous et du pH avant et après traitement selon les saisons.

4.3. Ions

Tableau 1 : Évolution du nitrite, nitrate, chlorure, ammonium et potassium avant et après traitement selon les saisons.

Avant traitement

Site	Provenance	Code	NO2				NO3				Cl				NH4				K			
			Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		Sèche		Pluie	
			mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD
Bumbu	Forage	FBB1	n.d.		n.d.		212.57		208.44	± 0.59	59.70		55.05	± 0.04	0.77		n.d.		23.10		25.81	± 1.11
		FBB2	n.d.		n.d.		179.80		178.70	± 17.95	52.50		45.75	± 0.04	n.d.		n.d.		19.90		20.97	± 0.82
		FBB3	n.d.		n.d.		166.96		147.82	± 1.31	45.20		37.09	± 0.91	n.d.		n.d.		13.70		11.08	± 1.66
		FBB4	n.d.		n.d.		438.87		319.19	± 14.09	150.00		92.43	± 5.95	8.01		n.d.		54.40		39.07	± 6.78
	Puit	PBB1	n.d.		0.37	± 0.01	235.16		135.37	± 7.00	73.50		79.90	± 0.72	0.84		5.49	± 0.77	25.90		52.19	± 3.07
		PBB2	< 0.16		37.44	± 0.49	177.59		69.65	± 5.31	50.30		177.14	± 2.32	0.42		19.91	± 2.26	19.90		110.95	± 1.33
		PBB3			0.23	± 0.04			181.21	± 0.24			45.11	± 0.46			n.d.				15.54	± 0.05
		PBB4	< 0.16		0.24	± 0.03	224.09		273.76	± 12.69	98.10		81.13	± 4.60	4.50		n.d.		52.70		28.66	± 1.32
Mont-Ngafula	Forage	FMG1	n.d.		< 0.16		16.47		20.39	± 1.27	3.27		4.10	± 0.36	n.d.		n.d.		1.04		1.24	± 0.14
		FMG2	n.d.		< 0.16		63.33		59.18	± 6.17	11.50		10.40	± 0.81	0.96		n.d.		3.23		3.26	± 0.13
		FMG3	n.d.		< 0.16		42.69		28.74	± 2.78	12.50		6.82	± 0.12	n.d.		n.d.		3.27		2.59	± 0.10
	Puit	PMG1	n.d.		< 0.16		127.99		128.01	± 5.95	41.40		31.07	± 1.08	1.47		n.d.		11.00		7.39	± 1.39
		PMG2	n.d.		< 0.16		147.47		147.68	± 16.33	41.40		38.43	± 0.53	1.16		n.d.		14.10		10.85	± 1.89
		SMG1	n.d.		< 0.16		32.95		28.68	± 0.57	6.08		5.44	± 0.09	n.d.		n.d.		0.68		0.69	± 0.18
	Source	SMG2	n.d.		< 0.16		49.60		43.85	± 3.40	10.50		8.56	± 0.61	0.26		n.d.		4.31		3.28	± 0.66

Après traitement

Site	Provenance	Code	NO2				NO3				Cl				NH4				K			
			Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		Sèche		Pluie	
			mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD	mg/L	SD
Bumbu	Forage	FBB1	n.d.		0.75	± 0.04	213.01		192.98	± 1.07	72.40		242.72	± 0.88	0.41		n.d.		22.70		23.00	± 0.05
		FBB2	n.d.		0.86	± 0.00	181.13		148.73	± 0.19	67.00		224.55	± 0.54	n.d.		n.d.		19.50		n.d.	
		FBB3	n.d.		0.94	± 0.01	172.71		138.86	± 0.21	56.60		229.31	± 0.58	n.d.		n.d.		13.60		14.56	± 0.05
		FBB4	n.d.		0.79	± 0.01	447.29		195.64	± 0.62	162.00		249.73	± 0.54	7.77		n.d.		54.70		20.94	± 0.29
	Puit	PBB1	n.d.		1.14	± 0.01	232.94		242.06	± 0.37	80.90		319.30	± 0.89	0.55		n.d.		25.10		31.62	± 0.08
		PBB2	n.d.		0.75	± 0.00	177.14		190.22	± 0.18	77.90		243.81	± 0.06	n.d.		n.d.		19.50		28.62	± 0.15
		PBB3																				
		PBB4	n.d.		1.65	± 0.10	224.09		240.18	± 0.20	105.00		415.55	± 0.44	4.42		n.d.		51.20		47.76	± 0.43
Mont-Ngafula	Forage	FMG1	n.d.		0.71	± 0.02	9.08		14.81	± 0.05	10.80		139.97	± 0.89	n.d.		n.d.		0.70		1.16	± 0.03
		FMG2	n.d.		1.01	± 0.04	63.33		154.98	± 0.04	44.60		232.90	± 0.19	0.10		n.d.		3.30		16.08	± 0.02
		FMG3	n.d.		1.67	± 0.03	43.62		181.95	± 0.14	22.70		397.83	± 0.29	n.d.		n.d.		3.34		21.01	± 0.18
	Puit	PMG1	n.d.		0.82	± 0.02	161.64		155.21	± 0.46	82.90		321.44	± 1.21	2.07		n.d.		13.60		14.13	± 0.05
		PMG2	n.d.		0.96	± 0.00	149.24		154.64	± 0.23	72.10		360.77	± 0.77	0.48		n.d.		13.50		14.43	± 0.05
	Source	SMG1	n.d.		1.11	± 0.02	32.46		30.53	± 0.00	36.50		233.05	± 1.02	n.d.		n.d.		0.77		3.73	± 0.10
		SMG2	n.d.		0.93	± 0.04	48.71		29.78	± 0.24	48.20		198.56	± 1.92	n.d.		n.d.		4.41		3.76	± 0.01

n.d. : non détecté
 < LQ : détecté mais inférieur à la limite de quantification
 SD : déviation standard (écart-type)

- Dépassements fréquents pour NO₃⁻ et K⁺
- Dépassements ponctuels pour NH₄⁺ et Cl⁻
- Dépassement exceptionnel pour NO₂⁻
- Les autres ions sont conformes aux normes.
- Saison des pluies : fluctuations avant / après plus marquées.
 ⇒ p < 0.05 détectées pour certains ions

4.4. Métaux

- Tous les métaux sont conformes aux normes sauf **Mn** et **Pb**.
- Fluctuations avant / après traitement observées pour les deux saisons.
- Saison des pluies : amplitudes de fluctuations plus importantes que la saison sèche.
- Différences statistiquement significatives ($p < 0.05$) :
 - Saison sèche : Cr, Ni, Ti
 - Saison des pluies : As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Fe, Ag

Tableau 2 : Évolution du manganèse et du plomb avant et après traitement selon les saisons.

Site	Provenance	Code	Mn				Pb				
			Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		
			µg/L	SD	µg/L	SD	µg/L	SD	µg/L	SD	
Avant traitement	Bumbu	Forage	FBB1	148.59	± 3.02	156.12	± 4.51	≤ LD		0.32	± 0.01
			FBB2	311.94	± 1.81	127.03	± 1.09	2.38	± 0.15	1.34	± 0.04
			FBB3	123.68	± 1.36	195.55	± 6.40	1.33	± 0.02	0.14	± 0.01
			FBB4	183.31	± 33.34	219.52	± 2.29	≤ LD		0.29	± 0.01
	Mont Ngafula	Forage	FMG1	125.80	± 7.60	53.82	± 0.93	≤ LD		0.03	± 0.00
			FMG2	54.48	± 0.34	101.42	± 1.77	≤ LD		0.44	± 0.00
			FMG3	60.41	± 0.59	2.39	± 0.10	≤ LD		≤ LD	
			PMG1	71.93	± 1.35	129.50	± 2.90	≤ LD		0.07	± 0.01
Bumbu	Puit	PBB1	370.88	± 34.38	310.79	± 6.44	≤ LD		≤ LD		
		PBB2	86.57	± 1.86	6.70	± 0.19	≤ LD		≤ LD		
		PBB3	531.33	± 8.98	344.74	± 2.22	≤ LD		≤ LD		
		PBB4	410.22	± 63.42	266.72	± 6.64	2.98	± 0.01	30.98	± 0.17	
Mont Ngafula	Puit	PMG2	318.30	± 2.03	125.27	± 1.24	31.62	± 0.61	0.17	± 0.06	
		SMG1	31.50	± 0.27	34.37	± 0.53	≤ LD		1.19	± 0.01	
		SMG2	188.27	± 2.41	160.84	± 2.55	5.79	± 0.17	5.14	± 0.35	
		Source									

Site	Provenance	Code	Mn				Pb				
			Sèche		Pluie		Sèche		Pluie		
			µg/L	SD	µg/L	SD	µg/L	SD	µg/L	SD	
Après traitement	Bumbu	Forage	FBB1	142.54	± 1.29	0.39	± 0.01	0.53	± 0.00	< LD	
			FBB2	122.32	± 0.99	0.39	± 0.01	0.53	± 0.02	< LD	
			FBB3	225.26	± 8.72	0.17	± 0.01	0.47	± 0.00	< LD	
			FBB4	395.96	± 5.59	0.10	± 0.00	0.39	± 0.01	< LD	
	Mont Ngafula	Forage	FMG1	23.99	± 0.59	0.28	± 0.02	0.13	± 0.00	< LD	
			FMG2	87.08	± 2.38	0.29	± 0.01	0.60	± 0.02	< LD	
			FMG3	0.45	± 0.02	0.09	± 0.02	0.22	± 0.01	< LD	
			PMG1	168.54	± 2.19	0.35	± 0.01	0.66	± 0.02	< LD	
Bumbu	Puit	PBB2	87.03	± 1.77	0.43	± 0.01	1.39	± 0.02	< LD		
		PBB3									
		PBB4	285.30	± 6.04	0.10	± 0.01	0.44	± 0.00	< LD		
		PMG2	151.91	± 2.72	0.77	± 0.04	0.27	± 0.00	< LD		
Mont Ngafula	Puit	SMG1	35.07	± 0.74	0.27	± 0.03	1.46	± 0.01	< LD		
		SMG2	184.25	± 4.20	0.15	± 0.01	6.65	± 0.14	< LD		
Bumbu	Source	SMG1									
		SMG2									

< LQ : détecté mais inférieur à la limite de quantification

4.5. Métaux – Dangers sanitaires

- L'HI pour Mn est < 1 , indiquant un faible risque.
 - Les HI pour PBB1, PBB3, PBB4 et FBB4 sont un peu élevés chez les enfants.
- Le Pb augmente l'HI sur PMG2, PBB4 et PBB1 (> 1), indiquant un risque non cancérigène significatif.
- Les enfants sont plus à risque.
- Les ILCR étant entre 10^{-6} et 10^{-4} indiquent un faible risque cancérigène.

Tableau 3 : Valeurs de HQ et de HI pour Mn et Pb dans l'eau de boisson avant et après traitement selon les saisons.

Sites	Saison sèche											
	Avant chloration						Après chloration					
	Adultes			Enfants			Adultes			Enfants		
	Valeurs HQ		HI	Valeurs HQ		HI	Valeurs HQ		HI	Valeurs HQ		HI
Mn*	Pb**		Mn	Pb		Mn*	Pb**		Mn	Pb		
FBB4	0.06	-	0.06	0.31	-	0.31	0.14	-	0.14	0.68	-	0.68
PBB1	0.13	-	0.13	0.64	-	0.64	0.08	2.71	2.79	0.41	13.55	13.96
PBB3	0.18	-	0.18	0.91	-	0.91	-	-	-	-	-	-
PBB4	0.14	-	0.14	0.7	-	0.7	0.1	-	0.1	0.49	-	0.49
PMG2	0.11	3.03	3.14	0.55	15.16	15.71	0.05	-	0.05	0.26	-	0.26

Sites	Saison des pluies					
	Avant chloration					
	Adultes			Enfants		
	Valeurs HQ		HI	Valeurs HQ		HI
Mn*	Pb**		Mn	Pb		
PBB4	0.09	2.97	3.06	0.46	14.85	15.31



Saison	Statut traitement	Site	ILCR adultes*	ILCR enfants*
Pluies	Avant chloration	PBB4	1.26E-05	6.31E-05
Sèche	Avant chloration	PMG2	1.29E-05	6.44E-05
Sèche	Après chloration	PBB1	1.15E-05	5.76E-05

Tableau 4 : Valeurs d'ILCR pour Pb.

05

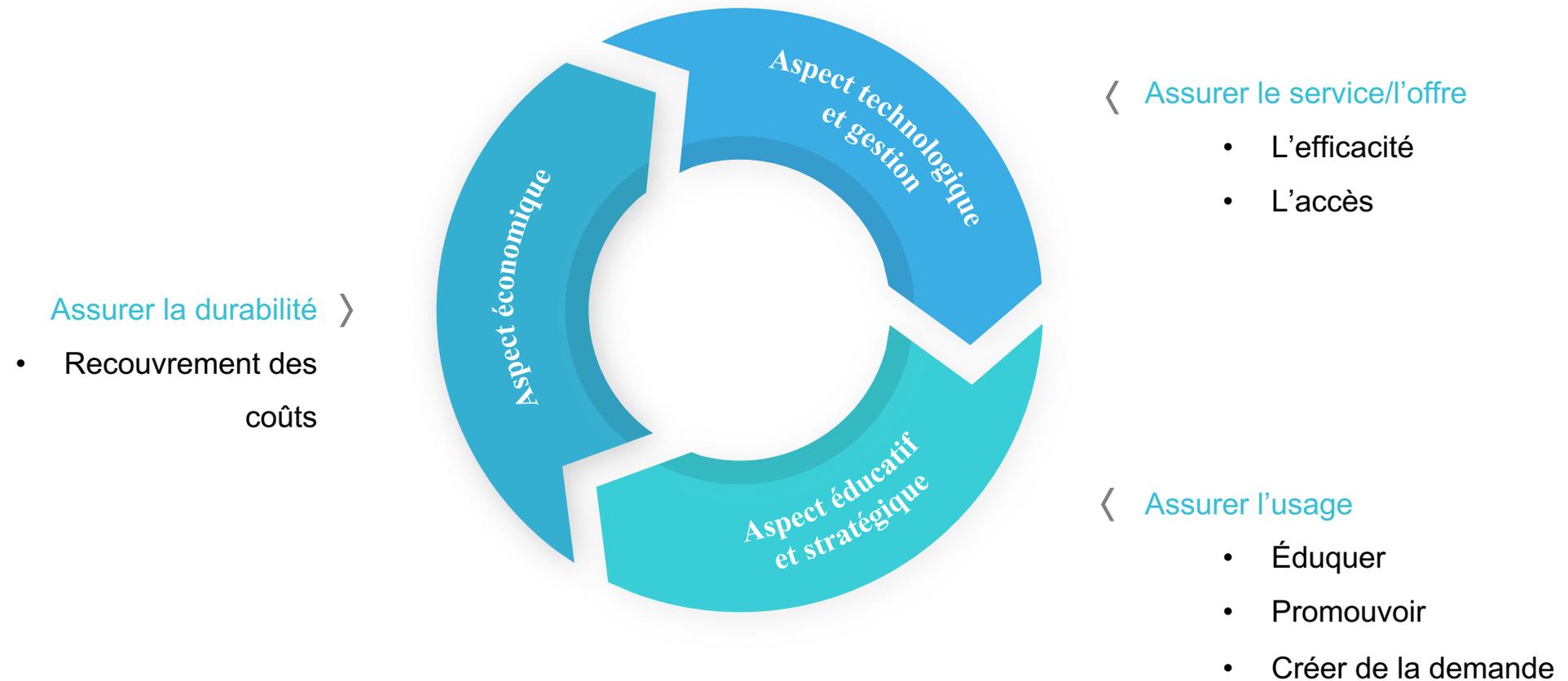
RÉSULTATS SOCIAUX

- I. Le cadre
- II. Aspect technologique et de gestion
- III. Aspect éducatif et stratégique
- IV. Aspect économique



5.1 Le cadre

Identification de 3 maillons pour assurer la longévité du programme :



5.2 Aspect technologique et de gestion

Assistance technique et chaîne d'approvisionnement		Formation du personnel en charge de la production	
✓	✗	✓	✗
<p>Le partenariat avec la succursale locale GoShop facilite :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Personnel qualifié • Accès aux équipements • Intervention rapide • Communication entre fontainiers et techniciens 	<ul style="list-style-type: none"> • Disponibilité des pièces <ul style="list-style-type: none"> • <i>Impacte rapidité d'intervention</i> • Disponibilité du personnel qualifié <ul style="list-style-type: none"> • <i>Impacte rapidité d'intervention</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Formation sur fonctionnement de l'appareil, les précautions à prendre, la théorie et les dosages de chlores • Actes d'engagement • Guides d'aide à la chloration 	<ul style="list-style-type: none"> • Entretien des appareils lacunaire <ul style="list-style-type: none"> • <i>Impacte régularité du service</i> • Pas de rappel ou d'évaluation régulière des acquis • Une seule et unique personne formée par site

5.3 Aspect éducatif et stratégique

Éducation et sensibilisation		Supports de sensibilisation		Hygiène et sécurité	
✓	✗	✓	✗	✓	✗
<ul style="list-style-type: none"> • Pas de scepticisme face au produit • Pas de croyances ou superstitions autour de l'eau • Conscientisation de la gravité des maladies 	<ul style="list-style-type: none"> • Lacunes dans les connaissances des sources de contamination et de la transmission des maladies 	<ul style="list-style-type: none"> • Équipes de sensibilisation qui répondent aux préférences • Échange interpersonnel et média « de masse » • Supports : bâches/posters • Messages court, concis, clairs, pictogrammes, langue locale 	<ul style="list-style-type: none"> • Visibilité des posters • Exhaustivité des message <ul style="list-style-type: none"> • <i>Lacunaire</i> • Rétention des messages clés <ul style="list-style-type: none"> • <i>Variable selon les sites</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Certains lavent les bidons avec du « savon poussière » 	<ul style="list-style-type: none"> • Des comportements à risques persistent <ul style="list-style-type: none"> • <i>Type de récipient</i> • <i>Stockage</i> • <i>Ustensiles intermédiaires</i>

5.4 Aspect économique

Charge financière actuelle

- Seuil des **3 % du revenu journalier** : ~ 0,12 \$.
- Coût de l'eau brute :
 - Forages : 0,56 \$ pour **200 L** (dépasse le seuil des 3 %).
 - Sources et puits : ~0,02 \$ pour **200 L** (en dessous du seuil).
- Coût de la technologie WATA reste sous le seuil des 3 % (hors Nano-WATA à temps plein (salaire 2)).
- Le prix de l'eau issue des sources et des puits (eau brute + chlore) reste inférieur aux 3 %.

Optimisation des coûts

- Modélisation basée sur 200 L/jour (couvrir tous les besoins) mais économies possibles en ciblant 50 L - 125 L/jour (boisson/cuisine).
- Solaire au lieu de l'électricité = réduction des coûts.

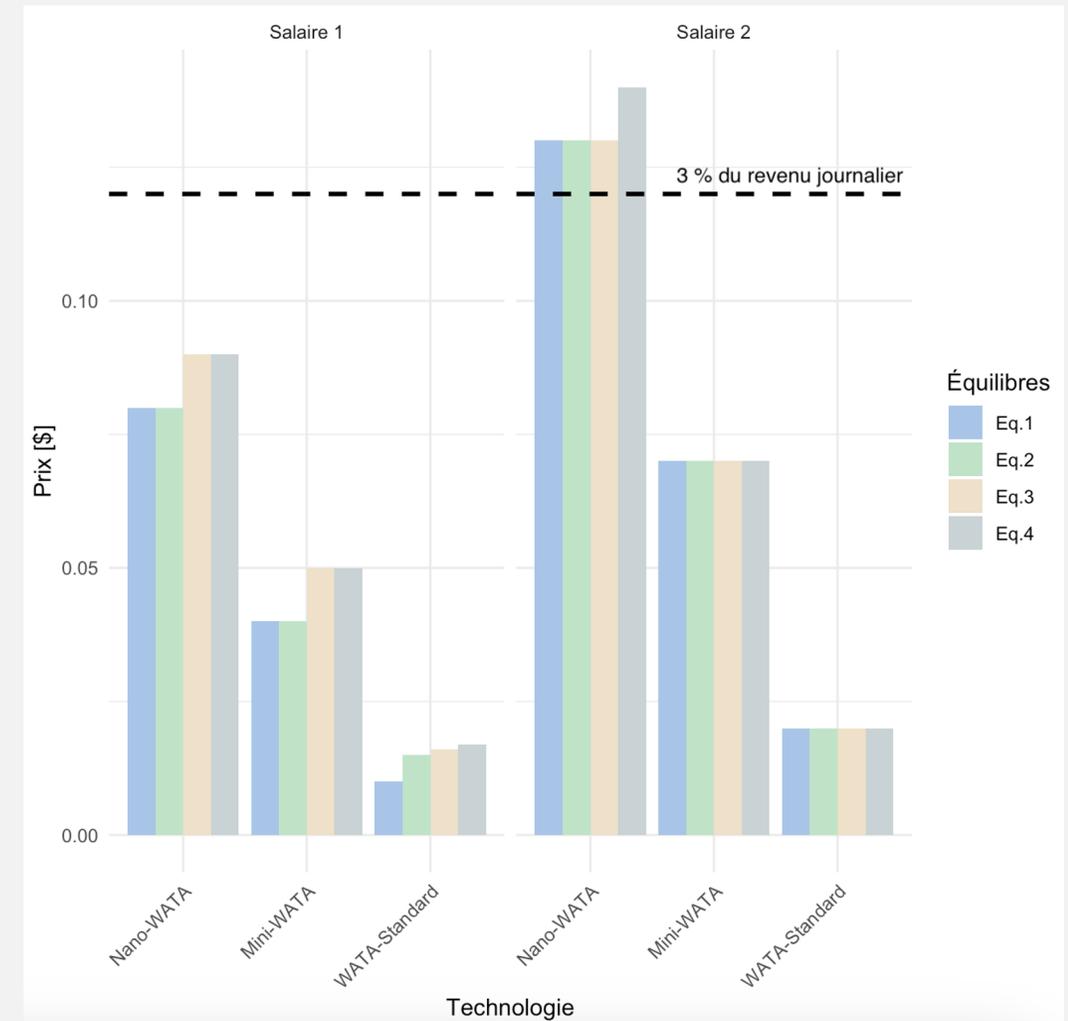


Figure 7 : Modélisation du coût journalier pour 200 L d'eau en fonction des équilibres et des appareils WATA.

5.4 Aspect économique

Dépenses réelles vs. projetées

- Situation actuelle (traitement alternatif + médicaments contre les maladies diarrhéiques) :
 - *Mont-Ngafula* : 4.55 \$/mois
 - *Bumbu* : 5.43 \$/mois
- Résultat de la modélisation : des économies sont possibles.

Écart entre volonté et capacité de paiement

- Disposition à payer :
 - *Bumbu* : 0.7 \$/mois
 - *Mont-Ngafula* : 0.07 – 0.175 \$/mois
- ⇒ **Les habitants paient déjà bien plus.**

		Équilibre 1		Équilibre 2		Équilibre 3		Équilibre 4		
		Coût mensuel []*	Éco. [\$]							
Mont-Ngafula	Nano-WATA	Salaire (1)	2.46	2.09	2.52	2.03	2.61	1.94	2.67	1.88
		Salaire (2)	3.78	0.77	3.84	0.71	3.96	0.59	4.05	0.50
	Mini-WATA	Salaire (1)	1.29	3.26	1.32	3.23	1.38	3.17	1.41	3.14
		Salaire (2)	1.95	2.6	1.98	2.57	2.04	2.51	2.07	2.48
	WATA-Standard	Salaire (1)	0.45	4.10	0.45	4.10	0.48	4.07	0.51	4.04
		Salaire (2)	0.63	3.92	0.63	3.92	0.69	3.86	0.69	3.86
Bumbu	Nano-WATA	Salaire (1)	2.46	2.97	2.52	2.91	2.61	2.82	2.67	2.76
		Salaire (2)	3.78	1.65	3.84	1.59	3.96	1.47	4.05	1.38
	Mini-WATA	Salaire (1)	1.29	4.14	1.32	4.11	1.38	4.05	1.41	4.02
		Salaire (2)	1.95	3.48	1.98	3.45	2.04	3.39	2.07	3.36
	WATA-Standard	Salaire (1)	0.45	4.98	0.45	4.98	0.48	4.95	0.51	4.92
		Salaire (2)	0.63	4.80	0.63	4.80	0.69	4.74	0.69	4.47

*À raison d'une consommation de 200 litres d'eau par jour.

Tableau 5 : Comparaison des coûts mensuels de notre technologie et des économies potentielles.

06

DISCUSSION

01

- **Efficacité du NaOCl** : élimine les bactéries d'origine fécale et non fécale.

02

- **Impact sur les paramètres étudiés** : absence d'interaction significative par NaOCl en saison sèche.

03

- **Variations en saison des pluies** : influencées par des facteurs multiples (variation interannuelle, intersaisonnière, activités humaines, ...).

04

- **pH** : suivi nécessaire pour prévenir les risques sanitaires ; solutions possibles (filtres, neutralisation).

- **Oxygène dissous** : impact du brassage lors de l'utilisation.

- **NO₂⁻** : préoccupations minimales.
- **Cl⁻** : surveillance nécessaire.

- **Présence de K⁺, NO₃⁻ et NH₄⁺** : indicateurs d'une pollution organique (décharges, engrais, matières fécales)^{5,6,7} → risque de formation de sous-produits indésirables (HAA, THM) → nécessité d'actions politiques

- **Mn** : faible risque, origine naturelle (roche)¹⁶.
- **Pb** : excès sporadique et variable → pas d'action préconisée à ce stade.

05

06

07

08

09

- **Gestion des stocks** : encourager la succursale locale à maintenir un stock de pièces et d'appareils nécessaires.

10

- **Renforcement des compétences techniques** : former davantage de techniciens pour des interventions rapides ; création d'un manuel de dépannage détaillé.

11

- **Intégration de la maintenance** : inclure cet aspect dans la formation ; établir une check-liste d'entretien régulier et un rapport mensuel.

12

- **Évaluations continues** : mise en place d'évaluations et de rappels sur les aspects pratiques et théoriques.

- **Effectifs** : former au moins un fontainier supplémentaire par site, du fait des conflits d'obligations.

- **Programmes de sensibilisation** : renforcer l'accent sur les sources et voies de contamination.

- **Déploiement des supports de sensibilisation** : s'assurer de leur affichage et organiser des visites de rappel sur les bonnes pratiques.

- **Hygiène et sécurité** : privilégier les bidons aux seaux, éviter les ustensiles intermédiaires, laver et stocker correctement les bidons

- **Perception des coûts** : clarifier que la technologie réduit les dépenses et n'ajoute pas de charge, afin de dissiper tout malentendu.

13

14

15

16

17

Témoignages

« Oui, nous sommes d'accord de payer ça, parce que c'est pour la santé. Quand vous tombez malade, vous risquez même de mourir, vous pouvez perdre la vie à cause de l'eau. »

« La santé n'a pas de prix. »

Elles indiquent patienter les 30 minutes car elles savent que c'est pour leur bien [...] et que ça ne leur prend pas de temps.

« On se sent très bien. »

« Oui, oui, on fait confiance [au chlore]. »

« On doit se sacrifier, car la santé n'a pas de prix. »

« Il y a le changement, il y a pas les amibes. Quand on buvait de l'eau sale, il y avait les amibes, mais maintenant là, il y a pas les amibes, pas la diarrhée, il n'y a rien du tout comme avant. »

« Il y a plus de visites à l'hôpital, les enfants malades il y en a moins. »

« Pour le chlore, nous sommes d'accord de faire de la publicité. »

07

CONCLUSION



01

Efficacité bactérienne prouvée

La technologie WATA™ a permis d'éliminer la contamination bactérienne d'origine fécale et non fécale.



02

Paramètres non-bactériens

Les conditions locales affectent peu l'efficacité du chlore, et les dépassements, étant majoritairement sporadiques et variables, ne nécessitent aucune action immédiate, sauf pour le NO_3^- , K^+ et NH_4^+ .



03

Durabilité

La pérennité est sur la bonne voie et des économies sont possibles avec la technologie.

Des améliorations sur le plan technique et un renforcement des connaissances restent nécessaires.



04

Recherches futures

Suivi des contaminants ayant excédé les normes (pH et Cl⁻).
⇒ Évaluation nécessité traitements additionnels

Affinement du modèle économique.

Exploration de partenariats pour les aspects identifiés.

Merci pour votre attention !

Des questions ?

Remerciements :



INSTITUT DES SCIENCES
DE L'ENVIRONNEMENT



08

ANNEXES

¹ Osiemo, M. M., Ogendi, G. M., & M'Erimba, C. (2019). Microbial Quality of Drinking Water and Prevalence of Water-Related Diseases in Marigat Urban Centre, Kenya. *Environmental Health Insights*, 13, 1178630219836988. <https://doi.org/10.1177/1178630219836988>

² Poté, J. (2024, mars). *Combattre les épidémies hydriques liées à la consommation des eaux souterraines non traitées par la population vulnérable de la Ville de Kinshasa*. Tribune.

³ OMS & UNICEF. (2021, juillet 1). *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene, 2000-2020: Five years into the SDGs*. UNICEF DATA. <https://data.unicef.org/resources/progress-on-household-drinking-water-sanitation-and-hygiene-2000-2020/>

⁴ UNEP. (2011). *The Democratic Republic of the Congo : Post-Conflict Environmental Assessment : Synthesis for Policy Makers*. <https://wedocs.unep.org/20.500.11822/22069>

⁵ Kapembo, M. L., Al Salah, D. M. M., Thevenon, F., Laffite, A., Bokolo, M. K., Mulaji, C. K., Mpiana, P. T., & Poté, J. (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*, 54(9), 840-850. <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1596702>

- ⁶ 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., & Poté, J. (2016). Evaluation of Water Quality from Suburban Shallow Wells Under Tropical Conditions According to the Seasonal Variation, Bumbu, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Exposure and Health*, 8(4), 487-496. <https://doi.org/10.1007/s12403-016-0213-y>
- ⁷ Kapembo, M. L., Mukeba, F. B., Sivalingam, P., Mukoko, J. B., Bokolo, M. K., Mulaji, C. K., Mpiana, P. T., & Poté, J. W. (2022). Survey of water supply and assessment of groundwater quality in the suburban communes of Selembao and Kimbanseke, Kinshasa in Democratic Republic of the Congo. *Sustainable Water Resources Management*, 8(1), 3. <https://doi.org/10.1007/s40899-021-00592-y>
- ⁸ APHA. (2005). Microbial examination. In : Standard methods for the examination of water and wastewater. Water Environment Federation (WEF).
- ⁹ Banze wa Mutombo, A., Atibu, E. K., Mbuya wa Mutombo, J., Kalonda, E. M., Bakatula, E. N., Kanda, V. N., Koy, R. K., Mulaji, C. K., Carvalho, F. P., & Poté, J. (2022). Contamination by heavy metals from mining activities : An ecological impact assessment of Mura and Kimpulande Rivers, Democratic Republic of the Congo. *Watershed Ecology and the Environment*, 4, 148-157. <https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.10.004>
- ¹⁰ Poté, J., Haller, L., Loizeau, J.-L., Garcia Bravo, A., Sastre, V., & Wildi, W. (2008). Effects of a sewage treatment plant outlet pipe extension on the distribution of contaminants in the sediments of the Bay of Vidy, Lake Geneva, Switzerland. *Bioresource Technology*, 99(15), 7122-7131. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.075>
- ¹¹ Kilunga, P. I., Sivalingam, P., Laffite, A., Grandjean, D., Mulaji, C. K., de Alencastro, L. F., Mpiana, P. T., & Poté, J. (2017). Accumulation of toxic metals and organic micro-pollutants in sediments from tropical urban rivers, Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. *Chemosphere*, 179, 37-48. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.081>
- ¹² Mavakala, B., Sivalingam, P., Laffite, A., Mulaji, C., Giuliani, G., Mpiana, P. T., & Poté, J. (2022). Evaluation of heavy metal content and potential ecological risks in soil samples from wild solid waste dumpsites in developing country under tropical conditions. *Environmental Challenges*, 7, 100461. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2022.100461>
- ¹³ Munene, E. N., Hashim, N. O., & Ambusso, W. N. (2023). Human health risk assessment of heavy metal concentration in surface water of Sosian river, Eldoret town, Uasin-Gishu County Kenya. *MethodsX*, 11, 102298. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102298>
- ¹⁴ UNICEF & CERADE. (2019, mai). *Étude de la capacité des communautés rurales et péri-urbaines à adhérer au paiement des services d'eau potable pour les usagers pour assurer le maintien du bon fonctionnement des points d'eau réalisés dans le cadre du programme national école et village assainis*. <https://www.unicef.org/drcongo/media/2886/file/COD-rapport-capacite-WASH.pdf>

¹⁵ SSWM. (s. d.). *Why scaling-up safe water has failed—The need for a new paradigm*. Consulté 11 mars 2024, à l'adresse <https://sswm.info/safe-water-business/background/why-scaling-up-safe-water-has-failed---the-need-for-a-new-paradigm>

¹⁶ OMS. (2022). *Guidelines for drinking-water quality—Fourth edition incorporating the first and second addenda*.

^a OMS. (2021). A global overview of national regulations and standards for drinking-water quality, second edition.

^b OMS. (2022). *Guidelines for drinking-water quality—Fourth edition incorporating the first and second addenda*.

8.1 Matériel supplémentaire à l'éducation et sensibilisation

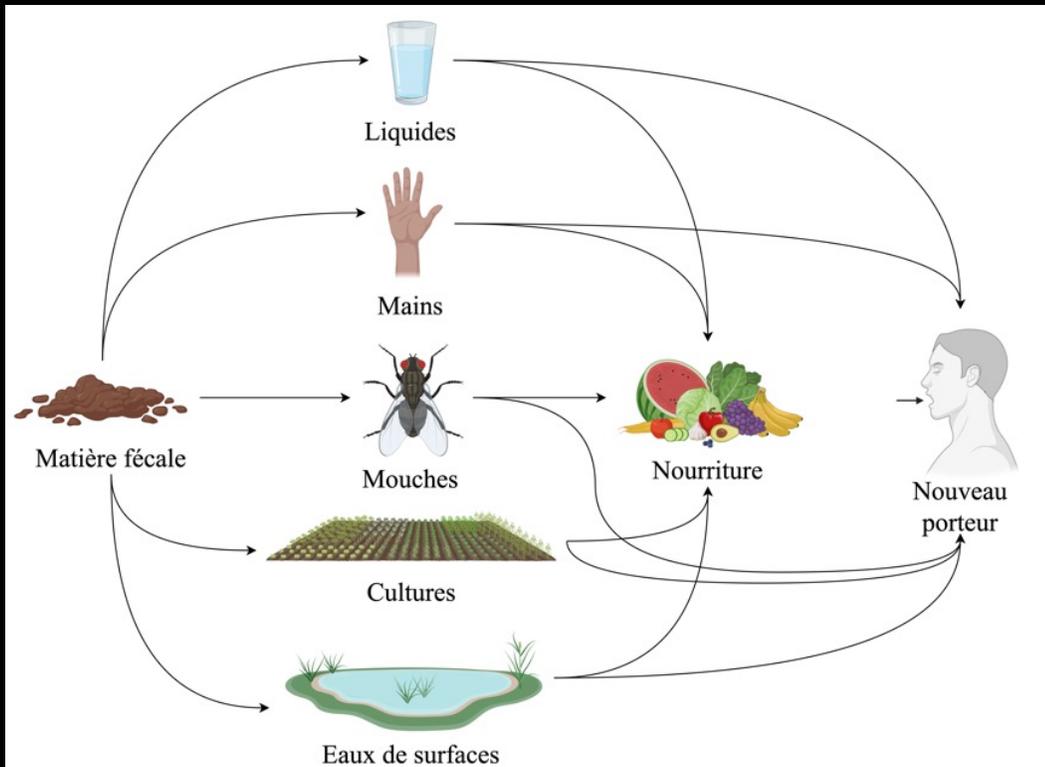


Figure 8 : Principales voies de transmission féco-orale. Diagramme adapté de McMahon et al. (2020).

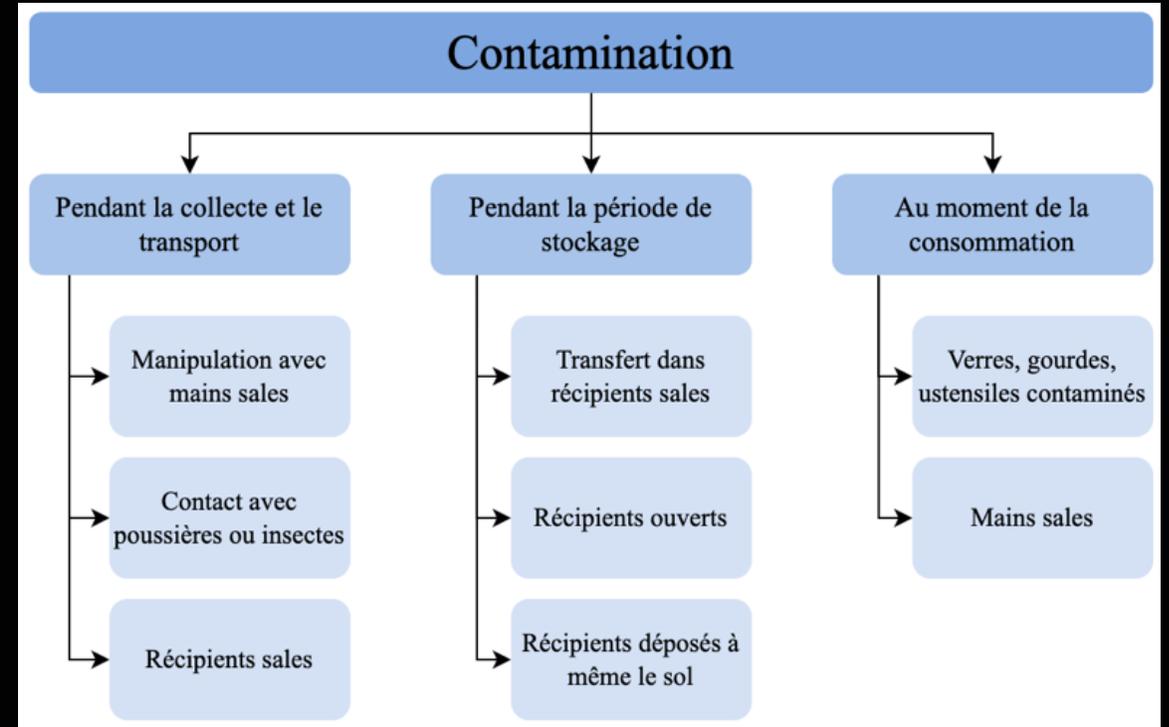


Figure 9 : Différents points de contamination ainsi que les causes de ces derniers. Diagramme adapté de EAWAG & EPFL, (2014).

8.2 Support de sensibilisation



Figure 10 : À gauche : le puits avec une bâche contenant des messages sur les pratiques recommandées pour garantir la potabilité de l'eau. À droite : vue rapprochée des messages sur la bâche, permettant une lecture claire des consignes.

8.3 Récipients usuellement utilisés et ustensiles intermédiaires



Figure 11 : Récipients classiques (bidons et seaux) utilisés par la population pour le stockage et le prélèvement de l'eau.



Figure 12 : Exemple de gobelet utilisé pour prélever l'eau.