

# *Contribution À L'étude De La Contamination Des Eaux Résurgentes De Bamba-Kilenda (Kongo-Central /RDC)*

Ngeleto Mubiongo D<sup>2</sup>, Intiomale Mbonino M<sup>2</sup>, N'gandundu Wolow AP<sup>2</sup>, Mayala Sawan JP<sup>1</sup>, Mayamba Nzambi P<sup>2</sup>, Mwata Matadi L<sup>2</sup>, Massampu Mambote JP<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Chercheurs, Centre de Recherches Géologiques et Minières BP 190 Kinshasa XL, RD Congo

<sup>2</sup>Chercheurs, Institut Géographique du Congo, Kinshasa/RDC,

<sup>3</sup>Professeur Ordinaire, Université. Kinshasa

Auteur correspondant : Ngeleto Mubiongo D



**Résumé :** Cette étude porte sur l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de résurgence de Bamba-Kilenda, une zone marquée par un contexte géologique complexe et par l'héritage d'anciennes activités minières. Nous avons échantillonné et analysé onze sources afin d'apprécier leur niveau de contamination et leur conformité aux normes françaises de potabilité de l'eau. Les paramètres étudiés incluent le pH, la minéralisation globale, les ions majeurs, ainsi que plusieurs éléments métalliques potentiellement toxiques.

Les résultats obtenus montrent que la majorité des sources d'eau étudiées présentent un caractère acide, avec des valeurs de pH inférieures aux normes recommandées, ce qui traduit une forte agressivité chimique. Les analyses effectuées ont révélé également des teneurs élevées en baryum, plomb et potassium, qui dépassent largement les seuils admissibles pour l'eau de consommation. La source de Niwa Mobutu constitue une exception relative par son pH basique, liée à son caractère captif et artésien, bien qu'elle demeure affectée par une forte minéralisation.

L'interprétation hydrogéologique met en évidence le rôle déterminant de l'anticlinal de Bamba-Kilenda et des structures faillées dans la circulation et la contamination des eaux souterraines. L'analyse géostatistique par semi-variogrammes montre que les anomalies métalliques, en particulier celles du plomb, s'étendent sur plusieurs kilomètres, ce qui définit une zone de pollution d'environ 164 km<sup>2</sup> centrée sur la source Banzoyi. Cette étude conclut que les eaux de résurgence de Bamba-Kilenda sont généralement impropres à la consommation humaine sans traitement préalable, et souligne la nécessité d'une gestion rigoureuse et durable des ressources en eau dans cette région.

**Mots clés :** Eaux de résurgence, Qualité physico-chimique, Hydrogéologie, Bamba-Kilenda, pH acide, Minéralisation, Ions majeurs, Éléments traces métalliques, Plomb, Baryum, Contamination minière, Potabilité, Normes françaises, Anticlinal, Structures faillées, Eaux souterraines, Géostatistique, Semi-variogramme, Anomalies métalliques, Pollution diffuse

**Abstract:** This study assesses the physico-chemical quality of spring waters in Bamba-Kilenda, an area characterized by a complex geological setting and the legacy of former mining activities. Eleven spring water samples were collected and analyzed to evaluate their contamination levels and compliance with French drinking water standards. The investigated parameters include pH, major ions, total mineralization, and potentially toxic metallic elements.

The results indicate that most of the sampled waters are acidic, with pH values below recommended drinking water limits, reflecting high chemical aggressiveness. Elevated concentrations of barium, lead, and potassium were recorded at most sampling sites, largely exceeding admissible standards. The Niwa Mobutu spring shows a relatively neutral to basic pH due to its confined and artesian nature; however, it remains highly mineralized.

Hydrogeological interpretation highlights the key influence of the Bamba-kilenda anticline and associated fault systems on groundwater flow and contamination processes. Geostatistical analysis using semi-variograms reveals that metal anomalies, particularly lead, extend over several kilometers, defining a contaminated area of approximately 164 km<sup>2</sup> centered on Banzoyi. Overall, the study demonstrates that spring waters in Bamba-kilenda are unsuitable for direct human consumption without appropriate treatment, and emphasizes the need for integrated water resource management and continuous monitoring to protect public health.

**Keyword:** Resurgence waters, Physicochemical quality, Hydrogeology, Bamba-Kilenda, Acidic pH, Mineralization, Major ions, Trace metal elements, Lead, Barium, Mining contamination, Potability, French standards, Anticline, Fault structures, Groundwater, Geostatistics, Semi-variogram, Metal anomalies, Diffuse pollution

## I. INTRODUCTION

### *I.1. Problématique*

La République Démocratique du Congo est un pays au réseau hydrographique dense. Bien que disposant une régie de distribution, certains recoins du pays manquent de l'eau potable et parmi ces régions, figure celle de Bamba-Kilenda dans la province du Kongo central. Les populations n'ont pas accès à l'eau potable. Elles recourent aux eaux de sources.

L'eau de la pluie alimente les aquifères souterrains par le biais de l'infiltration. Lorsque la nappe d'eau souterraine affleure ou déborde, elle donne naissance à des résurgences appelées sources (Vilagines, 2000).

### *I.2. Objet et intérêt du sujet*

L'eau revêt un caractère indispensable à la vie humaine et à celle de tous les êtres vivants. Elle est l'objet de nombreuses études, en surface et en souterrain quant à ses qualités. Cette étude vise la détermination de la présence ou non des contaminants et, aussi les mécanismes de transfert des polluants dans les eaux souterraines de Bamba-kilenda.

L'accent est mis sur les processus physiques et chimiques de transfert. Du point de vue physique, le temps de transfert va dépendre de deux facteurs principaux: d'une part, la nature du sol et des roches sous-jacentes, notamment leur homogénéité, d'autre part, leur perméabilité. Les polluants peuvent être emprisonnés dans les parties imperméables du sol puis libérés par les fortes charges hydrauliques.

Du point de vue chimique, les contaminants peuvent subir diverses transformations chimiques, notamment la dissolution (le polluant se dissout et se fixe dans le sol), la précipitation (le polluant se solidifie et se fixe dans le sol) et l'oxydo-réduction selon les caractéristiques oxydantes et réductrices du milieu et des interactions avec d'autres molécules. Ces facteurs devront permettre d'évaluer la qualité des eaux de Bamba-Kilenda par rapport aux normes de potabilité. Ou mieux, de déterminer si ces eaux sont spontanément conformes à tous les critères légaux de potabilité en dépit de leur composition qui ne serait pas absolument constante dans le temps.

Vu que Bamba-Kilenda est un site minier non épuisé, ce travail présente l'intérêt dans la mesure où il permet d'examiner si la présence de la minéralisation à côté de ces sources d'eau a une influence positive ou négative. En outre, l'étude permettra de définir les conditions d'une exploitation rationnelle de ces sources, car Mr Niwa Mobutu (Fils de l'ancien chef de l'état congolais), détenteur de titres fonciers, voulait y construire une usine d'exploitation d'eau minérale à large diffusion.

Un autre intérêt majeur est la connaissance des conditions de stockage d'eau douce dans le sous-sol et la recherche des réserves renouvelées superficielles et souterraines, peu soumises aux variations climatiques pour pallier les stocks disponibles.

## II. METHODOLOGIE

L'élaboration de ce travail a suivi le schéma suivant: le prélèvement des échantillons d'eau de sources, suivi des investigations sur terrain, et enfin les analyses physico-chimiques au laboratoire.

Sur le terrain, le parcours de sentiers menant aux différents sites a été suivi à l'aide d'une carte extraite de la feuille de Léopoldville et traitée au 1/50000, tandis le prélèvement des échantillons soigneusement conservés, identifiés et numérotés a été réalisé à l'aide des emballages plastiques (d'un litre) et d'un G.P.S (Global positioning system).

Les échantillons prélevés à des fins d'analyse au laboratoire portent des initiales indiquant les noms de sites de prélèvement. Les apports de deux laboratoires spécialisés nous ont été indispensables pour la finalisation de ce travail dont notamment :

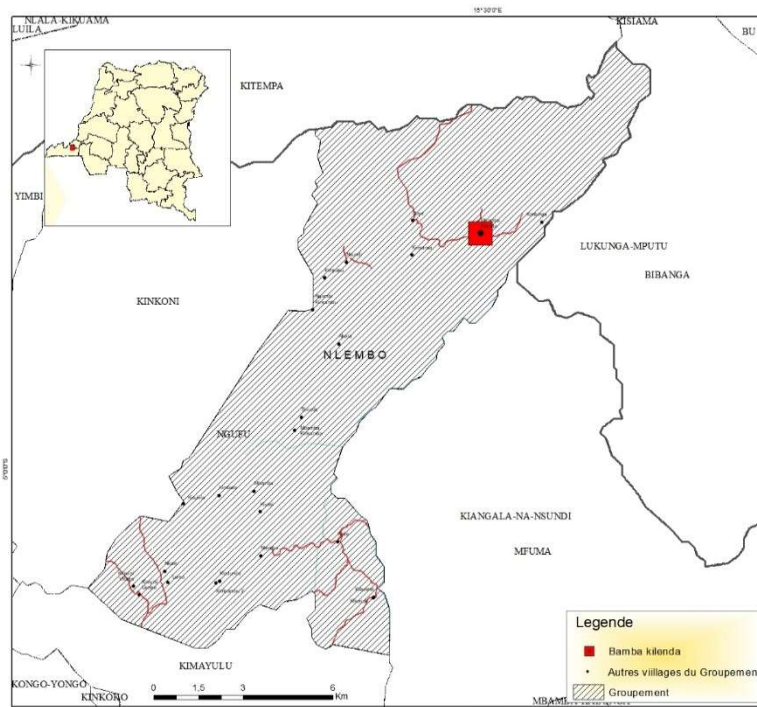
- Laboratoire de traitement des eaux de la REGIDESO, pour le dosage des anions, cations et éléments métalliques exploités dans ce travail;
- Laboratoire chimique de C.R.G.M, pour le dosage du barium et de l'arsenic dont la détermination était d'une grande importance par rapport à la zone d'étude.

### III. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

#### III.1 Situation du village de Bamba-kilenda

Bamba-kilenda, illustré ci-dessous par la carte (**fig 1**), est situé au Nord-Est de la province du Kongo-Cental, dans le groupement de Nlembo, secteur de Ngufu, Territoire de Madimba, à quelque 70 kilométrées au Sud-Ouest de la ville Kinshasa. Il est dirigé par un chef de secteur qui coordonne toutes les activités du Secteur. Le chef de centre est épaulé, dans ces fonctions; par un chef du Village qui, à son tour, s'occupe des activités particulières du Village.

Le village est doté d'un Centre de Santé pour les soins primaires des habitants. Il est à signaler aussi la présence d'une mission catholique. BEDEHOM laquelle contribue, d'une manière significative, sur le plan agricole et sanitaire, au développement du village.



**Figure 1 : Localisation de la zone d'étude**

#### III.2. Géologie de la région de Bamba-Kilenda

##### III.2.1. Cadre lithostratigraphique

La région de Bamba-Kilenda appartient, en dehors des formations de couverture, au domaine Ouest-congolien. Les formations plus anciennes n'ont pas été directement recoupées par les sondages, probablement en raison de l'importante puissance des séries sédimentaires.

Les formations de couverture affleurent principalement le long de la rivière Bondji, où elles forment des chutes en gradins. Elles sont constituées d'une succession de bancs de grès rose violacé, de conglomérats à éléments de quartz, de grès de l'Inkisi et de shales rouges, ainsi que de grès tendres feldspathiques et kaolineux, témoignant d'un environnement sédimentaire continental.

Les formations précambriennes qui sont reconnues dans la zone proviennent principalement de carottes de sondages anciens. Elles sont dominées par le Schisto-gréseux, comprenant principalement le groupe de l'Inkisi, caractérisé par des grès

feldspathiques à faciès de type « vieux grès rouge », localement à ciment calcaire, et présentant de nombreux caractères continentaux. Ces formations affleurent notamment au Sud-ouest et au Nord-Est de l'anticlinal de Bamba-kilenda.

Le groupe de l'Inkisi comprend plusieurs sous-groupes quartzitiques et arkosiques (quartzites, schistes, arkoses et conglomérats), marqués par une forte variabilité lithologique et une fracturation importante, favorable à la circulation des eaux souterraines.

Au-dessus repose le groupe de Mpioka, atteignant localement une puissance d'environ 225 m, constitué d'alternances répétées de schistes et de quartzites feldspathiques rouges, à faciès détritique continental.

Les formations schisto-calcaires sont représentées par le groupe du Bangu, affleurant principalement au cœur de l'anticlinal. Ce groupe est composé de calcaires finement cristallins, parfois dolomitiques, de calcschistes et de niveaux oolithiques, avec des indices d'émergence, d'érosion karstique et de minéralisation. Ces formations témoignent d'une sédimentation littorale à lagunaire et jouent un rôle hydrogéologique majeur dans la zone. **Fig 2.**

### **III.2.2. Contexte tectonique et anticlinal de Bamba-Kilenda**

La région de Bamba-Kilenda est affectée par l'orogénèse Ouest-congolienne, d'âge approximatif de 630 Ma, qui a structuré une large portion de la bordure atlantique d'Afrique centrale. Cette orogénèse se caractérise par une organisation en zones interne, médiane et externe, marquées par des plis allongés, des failles et des flexures affectant les formations ouest-congoliennes.

La phase principale de plissement est associée à la surrection de la ride de Mbanza-Ngungu, orientée globalement NE-SW, qui se prolonge vers l'Est par l'anticlinal de Bamba-kilenda. Cet anticlinal, orienté approximativement N80°E, présente un flanc Nord affecté par une faille majeure et s'ennoie latéralement vers l'Est et l'Ouest.

Le cœur de l'anticlinal est constitué par les formations schisto-calcaires du groupe du Bangu, dont les affleurements atteignent environ 12 km de longueur pour 3,5 km de largeur, avec une altitude maximale d'environ 450 m.

La présence de faille Bamba-Kilenda qui serait le résultat de la réactivation d'une ancienne zone faillée à la fin de l'orogénèse Ouest-congolienne: Elle lui est donc postérieure (**Cahen, 1954 b, 1978**). Cette faille est redressée en affleurement, avec une pente de 70° N ; elle s'aplatit en profondeur sur une courte distance et atteint une pente de 40° qui par endroits n'est plus que 5° N. Sa direction est N85°E avec un rejet vertical de 400 m (**Bomoco 1947 ; 1958**).

La faille de Bamba-Kilenda affecte le flanc Nord de l'anticlinal en occasionnant son affaissement par rapport au flanc du Sud (faille normale); elle établit aussi un contact anormal entre les schisto-greux (Inkisi I et II) et le schisto-calcaire (Bangu CIII ou C<sub>5</sub> sup b). **fig4** C'est à ce niveau que s'est mise la minéralisation cuprifère et, dans la partie orientale, une minéralisation complexe Cu-Pb-Zn pyriteuse et vanadifère.

Les sondages l'ayant recoupé ont démontré que l'accident principal est flanqué des cassures satellites parallèles situées à faible distance et éventuellement minéralisées.

Des petits décrochements transversaux dirigés NE seraient aussi minéralisés. À l'Est, cette faille semble se diviser en plusieurs branches divergentes et a été reconnue à la rivière Lutasi où les schisto-greux émergent sous la couverture crétaciques (**Baud, 1963**). À l'Ouest de cette grande faille, on observe une faille transversale de direction N12°.

### **III.3. Intérêt pour l'étude des eaux résurgentes**

La combinaison des formations carbonatées, des unités détritiques feldspathiques, de la fracturation tectonique et de l'héritage minier fait de l'anticlinal de Bamba-kilenda une structure favorable :

- à la remontée des eaux souterraines,
- aux interactions eau-roche prolongées,
- et à une minéralisation naturelle parfois accentuée par les anciens travaux miniers.



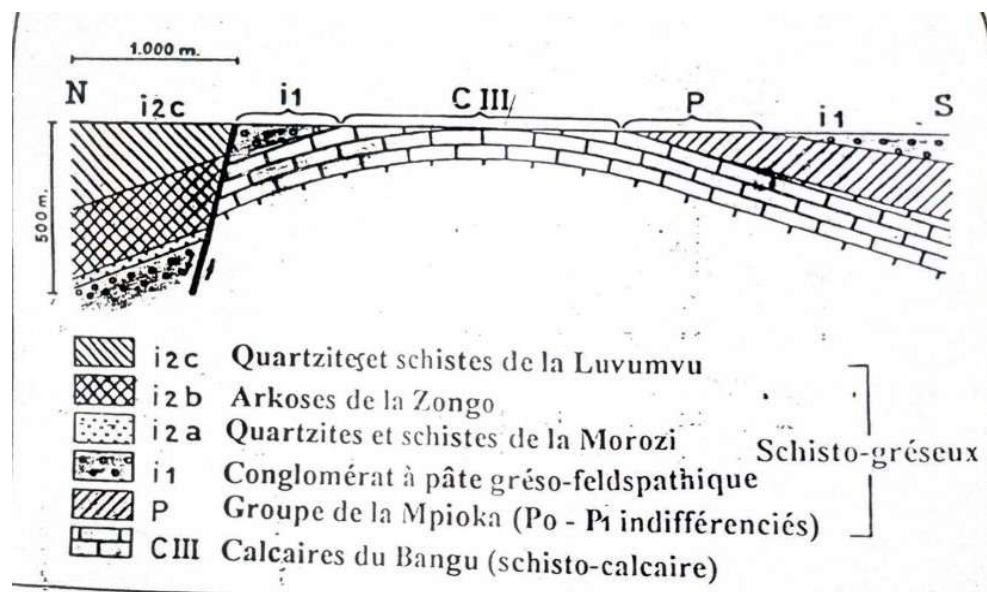


Figure 4: Coupe de l'anticlinal de Bamba-Kilenda au niveau de méridien 15 30' Est.

Les terrains de couvertures ne sont pas représentés et les hauteurs sont doublées) (Ladmirant, 1964)

#### III.4. Description des sites de prélèvement

##### Site 1: Niwa Mobutu

Ce site n'est pas, à proprement parler, une source d'eau naturelle, mais plutôt un sondage d'eau bien aménagé par Mr Niwa Mobutu pour la consommation, avec une hauteur de jet d'environ 1,15m. Il est situé dans la contrée de Kimbinga aux: coordonnées géographiques suivantes; 04°55' 20,6" de latitude sud, 15° 31' 5,3" de longitude Est, et une altitude de 449 m, son eau est claire et limpide.

##### Site 2: SAFI

Située dans une vallée, aux coordonnées géographiques 04°55' 13,7" sud, 15° 30' 48" Est, et une altitude de 449m. Ce site est une source d'eau au sens strict du terme et il est aménagé pour la consommation locale. Son eau est claire et limpide.

##### Site 3: BANZOYI

Assez bien aménagée, la source se trouve au pied d'une colline aux coordonnées: 04° 55' 14" sud, 15° 30'16" EST, à une altitude de 445m. Elle contribue à la consommation locale en fournissant une eau limpide.

##### Site 4: MASUNGU

Dans sa position au milieu d'une vallée, à 04° 55',9" Sud, 15° 29' 58, 1" Est et une altitude de 451m, elle alimente la rivière MASUNGU et a été aménagée pour la consommation locale des habitants du camp MASUNGU. L'eau puisée dans cette source est Claire.

##### Site 5: MISSIONI

C'est une source d'eau naturelle aménagée pour la consommation locale des habitants de Missioni. Elle est située, comme BANZOYI; au pied d'une colline; à 04°55' 20,7° sud, 15°29' 59,4" Est, et une altitude de 447m. Elle donne une eau limpide.

### **Site 6: LIBYE**

Classe dans le rang des sources d'eau naturelle, Ce site est situé dans une vallée et il a été aménagée pour la consommation locale des habitants du camp Libye aux coordonnées 04° 54' 58,6" Sud, 15° 30' 1" Est et 458m d'altitude. Son eau est claire.

### **Site 7: Mpudi-Kembo**

Au milieu d'une profonde vallée, aux coordonnées 04° 56' 8,3" sud, 15° 31' 04" Est et 460m d'altitude, la source d'eau de Mpudi-Kembo est naturelle et donne une eau claire. Elle a été aménagée pour la consommation locale des habitants de Mpudi-Kembo.

### **Site (8, 9, 10) de KILUMBU**

Ces sources d'eau naturelle sont situées dans une plaine, séparées entre elles par une distance d'au moins 700m, aux coordonnées respectives

04° 56' 10,6" Sud, 15° 29' 32,2" Est et 470m altitude (site 8),  
04° 55' 57,5" Sud, 15° 29' 29,5" Est et 468m altitude (site 9);

04° 55' 44, 4" Sud; 15° 30' 0, 3" Est et 468m d'altitude (site 10). Elles sont aménagées pour la consommation locale et l'eau y sort claire et limpide.

### **Site 11: LIBULU**

Situé au pied d'une colline, cette source bénéficie d'un aménagement assez médiocre. Les conditions d'accès sont assez difficiles. Toutefois, la source de LIBULU fournit une eau claire à 04°56' 11,2" Sud, 15°29'15,1"Est et 464 m d'altitude.

**Tableau n°1. Tableau de renseignements supplémentaires des sites**

Source d'eau	Roche de surface	Coloration de la roche
NIWA MOBUTU	Argile	Brunâtre teintée de rouge
SAFI	Sable fin	Ocre
BANZOYI	Sable fin	Ocre
MASUNGU	Sable fin	Ocre
MISSIONI	Sable fin	Ocre
LIBYE	Sable fin	Ocre
MPUDI-KEMBO	Sable fin	Ocre
KILUMBU 1	Sable fin	Brune - noirâtre
KILUMBU 2	Sable fin	Ocre
KILUMBU 3	Sable fin	Noirâtre
LIBULU	Sable fin	Ocre

**Tableau n°2. Tableau de perméabilité, porosité totale et efficace de différentes roches**

Roche	Permeabilité m.s <sup>-1</sup>	Porosité totale l.m <sup>-3</sup>	Porosité efficace l. m <sup>-3</sup>
Sable grossiers, graviers	1.10 <sup>-2</sup> à 1.10 <sup>4</sup>	200 à 400	150 à 250
Sables fins	1.10 <sup>-3</sup> à 1.10 <sup>4</sup>	300 à 350	100 à 150
Calcaire fissure	1.10 <sup>-2</sup> a 1.10 <sup>-6</sup>	10 à 100	10 à 50
Argile	1.10 <sup>-1</sup> a 1.10 <sup>-10</sup>	400 à 500	10 à 20
Schiste	1.10 <sup>-7</sup> a 1.10 <sup>-10</sup>	10 à 100	1 à 20

Source: (Jl. le Bellegard, J.P. Kerfysier, mai 1983)

#### IV. RÉSULTATS

Nous présentons les résultats des analyses physico-chimiques réalisées sur les eaux des résurgences de Bamba-kilenda. Les données obtenues nous ont permis d'évaluer le niveau de contamination de ces eaux et d'apprécier leur conformité aux normes de qualité de l'eau potable recommandées par la réglementation française en la matière.

##### IV.1. Réglementation française de la qualité de l'eau d'alimentation

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France impose les normes suivantes, d'après le code de la santé publique: pour être distribuée aux collectivités, une eau doit satisfaire aux conditions suivantes:

1. Ne pas contenir d'organismes parasites ou pathogènes.
2. Ne pas contenir, dans le cas d'une eau traitée, d'Escherichia coli (dans 100 ml) ni des streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau) ni de Clostridium sulfito-réducteurs (dans 20 ml d'eau). Ne pas contenir, dans le cas d'une eau non traitée, d'Escherichia coli (100 ml d'eau) ni de streptocoques fécaux (dans 50 ml d'eau) ni de Clostridium sulfito-réducteurs (dans 20 ml d'eau); La présence, en petit nombre, de Clostridium sulfito-réducteurs est tolérable dans une eau traitée et n'implique pas à elle seule la non potabilité de l'eau.
3. Ne pas présenter de coloration dépassant 20 unités (échelle colorimétrique au platino-cobalt) ni une turbidité supérieure à 15 gouttes de solution alcoolique de gomme mastique à 1/1000 en période normale d'exploitation.
4. Ne pas avoir un pouvoir colmatant dû aux éléments. en suspension supérieure à 0,1 et ne pas contenir d'algues ou autres éléments figurés.
5. Ne pas présenter d'indices chimiques de pollution ni de concentration en substances toxiques et indésirables supérieures à ceux qui sont fixés dans le tableau ....
6. La minéralisation totale ne doit pas excéder 2gr par litre. En outre l'eau ne doit pas présenter d'odeur ni de saveur désagréable
7. L'eau ne doit présenter une radioactivité supérieure à celle qui est définie en vigueur (Arrêté du 07 septembre 1967). Il apparaît en outre souhaitable que la concentration de certains éléments ne dépassent pas les chiffres suivants (circulaire du 15 mars 1962) :

- ✓ Magnésium (en Mg): 125 mg/l
- ✓ Chlorures (en Cl) : 250 mg/l

✓ Sulfates (SO<sub>4</sub>) : 250 mg/l

Ce qui concerne les nitrates, il devra être tenu compte du fait qu'une teneur supérieure à 10 mg/l de N, soit 44 mg/l de NO<sub>3</sub> est susceptible de provoquer des troubles, notamment chez les nourrissons. De plus il est désirable que le degré hydrotimétrique total soit inférieur à 30 degrés français, les degrés optimums paraissant s'établir aux environs de 12° à 15°.

#### *IV.2. Présentation des résultats d'analyse*

Notre analyse est axée au laboratoire sur les paramètres organoleptiques. Les premiers paramètres sont en relation avec la structure de l'eau et les paramètres indésirables. Les premiers paramètres cadrent sur la saveur, la couleur, l'odeur et la transparence de l'eau. Ils n'ont pas de signification sanitaire, mais, par leur dégradation, ils peuvent indiquer une pollution (OMS, 1986). Les seconds paramètres font l'identité de base de l'eau. Ils sont essentiellement représentés par les sels minéraux (calcium, sodium, potassium, magnésium, sulfates etc...) ou par des indicateurs plus globaux comme la conductivité électrique qui permet d'avoir une idée sur la salinité de l'eau (Rodier, 1984).

Les derniers paramètres se basent sur certaines substances dites indésirables parce qu'elles peuvent, soit être un désagrément pour le consommateur : gout (matières organiques, fer, etc...); odeur, couleur (fer, manganèse,...), soit causer les effets gênants pour la santé (nitrites, fluor,).

On surveille donc, prioritairement la contamination des eaux par des matières organiques (mesurée par l'oxydabilité au permanganate de potassium, la présence de nitrate et la concentration en fer) (**Villagines, 2000**).

**Tableau 4.a: Tableau synoptique des analyses physico-chimique**

Échantillon	MASUNGU M.S	NIWA MOBUTU	LIBYE LIB	KILUMBU 1 KILI	KILUMBU 2 KIL2	KILUMBU 3 KIL3	MISSION I MI	IJBULU L.B	BANZOYI N.Z.	SAFI S.F.	MPUDI- KEMBO M.V
pH ( $\bar{x}$ ) ± S	4,96±0,03	7,67±0,08	5,17±0,03	4,90±0,05	4,43±0,02	4,17±0,01	5,06±0,03	5,6±0,06	4,38 ± 0,01	4.29 ± 0,01	4,76 ± 0,00
Cl <sup>-</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	30,86±0,05	22,96±1,18	37, 17±0,46	25,32±6,63	34.36± 17,47	49,70±2,13	25.32x1, 66	51.12±2.	49,70± 0,71	24.14± 0,71	32,17±1,2
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	52±3,00	50±10,0	32±2,00	92x4, 00	41,41±1, 0	50±0,00	30±3,00	30x0-00	53±3,00	62 ± 4,00	71±1, 00
NO <sub>3</sub> ( $\bar{x}$ ) ± S	4,99±0,73	5±0,72	3.52±0.44	3,52±0,00	4,84±0,88	5,57±0,59	3,96 ± 0;44	4.84x0.44	7,70±0,88	7,45± 0,47	1,76 ± 0,22
Mg <sup>++</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	1, 00±0,02	4,20±0,8	0,97±0J3	0,80±0, 1	0,30±0,2	0,87±0,03	0,13x0.17	0.23±0.07	0,90±0,02	0,67 ± 0.13	0,27±0,23
Ca <sup>++</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	0,13±0,07	8,13±0,17	0,13x0, 07	0,23±0,07	0,30 ± 0,1	0,30±0,00	0,43±0,17	0,33±0,07	0,27±0,13	0,43 ± 0,07	0,87±0,03
Fe <sup>3+</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	0,09±0,01	0,06±0,01	0,11 ± 0,01	0,06 ± 0,00	0,02±0,01	0.30±0,1	0,18±0,02	0.20x0, 02	0,03±0,01	0,04 ± 0,02	0;09±0,00
Mn ( $\bar{x}$ ) ± S	0,00±0,00	0,00±0,00	0,00± 0.00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00 ± 0,00	0,00±0,00	0,00±0, 00	0,00±0,00	0,00 ± 0, 00	0,00 ± 0,00
Tht ( $\bar{x}$ ) ± S	1, 13±0, 17	12, 30± 0, 7	1, 10±0, 1	1, 03 ± 0,07	0,60±0,1	1,07±0,03	0,57±0,03	0,57±0, 13	1.16±0,14	1, 10±0, 1	1,13±0,17
Turb. ( $\bar{x}$ ) ± S	(1,05±0,02	0.81±0J7	7.20 ± 0,21	1, 18±0,32	0,65±0,08	1, 63±0,06	14,1±0,7	1.39±0.08	1,17±0,04	0,97±0, 1	0,90±0,05
M.O. ( $\bar{x}$ ) ± S	1, 40±0,2	3,40±0,2	2,10 ± 0,1	1, 90±0, 11	1, 80±0,2	2,40±0,2	2,30 ± 0, 1	3. 10±0J	2,80±0,02	3,59±0, 1	4,40±0,2

X: Moyenne

S: Écart-type

**Tableau 4 b: Tableau synoptique des analyses physico-chimiques**

Échantillon sigle Essai	MASUNGU M.S	NIWA MOBUTU N.M.	LIBYE LIB.	KILUMBU 1 KILI	KILUMBU KIL2	KILUMBU 2 KIL3	MISSIONI M	LIBULU 1 LB	BANZO YI BZ	SAFI SF	MPUDI- KEMBO M.K
Zn <sup>++</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	0,07±0,02	0,11±0,02	0,21± 0,04	0,14±0,01	0,06±0,01	0,02±0,00	0,19±0,01	0,36±0,05	0.11±0, 01	0.14±0.02	0,17±0,01
Pb <sup>++</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	56±0,53	55, 00 ± 03	51.63±0,67	49,50±0,5	48,97±1, 03	60,47±0,73	58,63±0,57	63,80±0,4	64,60±0,5	50,47±0.	49 ,43±0.67
Cu <sup>++</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	0,08±0.01	0,05 ± 0,01	0,00±0,00	0,07±0,00	0,05±0,01	0,00x0, 00	0,09±0,00	0,08±0,00	0,08±0.01	0,00±0.0 0	0,00 ±0.00
Na <sup>+</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	144,33±2,97	140,23±3,27	83,30± 2,7	25±2,1	293,50±17, 6	200.63±24,57	379,73±29,77	52,43±25,9	109,5±11,7	122.57±	106,60±6
K <sup>+</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	220,3± 24	463,97±36,63	171,67±27,23	193,23±15,87	265,30±45,9	251,10±10, 2	204,56±97,51	169,49±56,	587,20±101,8	224.87±	142.07±31,6
Ba <sup>++</sup> ( $\bar{x}$ ) ± S	0.50±0,01	2,00±0,05	1, 77±0,06	1, 35±0,27	1, 50±0,13	1, 00±0, 1	1, 45±0, 1	0,25±0.05	2.75±0,13	1,35±0 1 5	05±0.01
As ( $\bar{x}$ ) ± S	0,00±0,00	0,02±0,00	0,00±0,00	0,01 ±0,00	0,01 ±0,00	0,03±0,01	0,00±0,00	0,00±0,00	0,02±0,01	0,00±0,00	0.05*0.01

$\bar{x}$ : Moyenne  
S: Écart-type

**Tableau 5: Substances chimiques tolérées dans l'eau (Normes Françaises de potabilité de l'eau)**

Substances	Concentration maximale souhaitable	Concentration maximale admissible	Concentrations limites
Turbidité	5 unités	50 unités	
Fe	0,1 mg/l	1,0 mg/l	
Mn	0,05 mg/l	0,5 mg/l	0,2 mg/l
Cu	0,05 mg/l	1,5 mg/l	0,1 mg/l
Zn	5 mg/l	15 mg/l	1,0 mg/l
Ca			5 mg/l
Mg	75 mg/l	200 mg/l	125 mg/l
SO <sub>4</sub>	30 mg/l si l'eau contient au moins 250 mg/l de sulfate	150 mg/l	250 mg/l
Cl		400 mg/l	30°F
pH	200 mg/l	600 mg/l	0,1 mg/l
Dureté totale	7 à 8,5	6,5 à 9,2	0,05 mg/l
Pb	2 méq/l (100 mg/l CaCO <sub>3</sub> )	10 inéq (500 mg/l CaCO <sub>3</sub> )	
As		0,1 mg/l	45 mg/l
		0,5 mg/l	

Source: Degremot, 1978

**NB:** Outre les énumérées dans ce tableau, il y a d'autres (Ba, Be, Co, Sn, Mo, U, V) dont la présence dans l'eau de boisson devra être contrôlé, mais les données actuelles ne permettent pas de leur assigner des limites précises.

#### *IV.3 L'influence de pH dans la pollution de l'eau*

Le pH indique si l'eau est à tendance acide ou alcaline. Il représente une notion très importante dans la détermination de l'agressivité de l'eau. La mesure régulière du pH est essentielle à la conduite d'une station de traitement. Il joue en particulier un rôle considérable sur l'efficacité de la coagulation.

Une eau est polluée lorsqu'elle devient impropre à la consommation ou lorsqu'elle présente un danger pour l'environnement. L'eau superficielle est d'avantage susceptible d'être polluée par l'activité humaine qu'une eau captive protégée par des couches imperméables (Intiomale, 2005).

En outre, une pollution a lieu au cours de la percolation, avec formation de l'acide sulfurique dans la zone d'oxydation. Les sels en solution sont considérés comme complètement ionisés c'est pourquoi on exprime les dosages en meq d'anions et des cations. Le total des anions et des cations exprimés en mg/l détermine la salinité totale de l'eau. La notation permet alors de constituer les différentes combinaisons possibles entre les anions et les cations et de vérifier l'exactitude de l'analyse, car la consommation des

cations doit être égale à la somme des anions sauf excès. Les cations et les anions qui entrent en combinaison pour constituer les différents sels dissous dans l'eau sont groupés dans le tableau n°6. Où ils sont exprimés en méq/l.

Au regard des résultats d'analyse, on constate qu'une seule source, notamment Niwa Mobutu, a un pH basique soit  $pH = 8$ , et que toutes les autres sources ont des pH acides variant de 4,2 à 5,2. Donc ces eaux de source sont acides comme l'indiquent leurs pH respectifs, excepté celle de Niwa Mobutu.

Par ailleurs, la somme des anions devrait être égale à celle des cations, mais cela n'est pas le cas, car il y a un excès d'anions qui se traduit par un déficit en cations, rendant le pH faible et les eaux corrosives acides, à l'exception la source Niwa Mobutu.

**Tableau n° 6 Teneurs en milliéquivalents par litre (anions et cations)**

Échantillon Paramètre	MASUNGU M.S	NIWA MOBUTU N.M.	LIBYE LIB.	KILUMBU 1 KILI	KILUMBU 2 KIL2	KILUMBU 3 KIL3	MISSION! Mi	LIBULU LB	BANZOYI B.N.	SAFI S.F.	MPUDI- KEMBO M.K.
SO <sup>4</sup>	1,080	1.042	0,667	1,917	0,854	1,042	0,625	0,625	1,104	1,292	1,479
Cl <sup>-</sup>	0,869	0,647	1,047	0,713	0,968	1,400	0,713	1,440	1,400	0,680	0,906
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,08	0.081	0,057	0,057	0,078	0,090	0,064	0,078	0,124	0,120	0,028
Ca <sup>++</sup>	0,006	1 0.407	0,006	0,012	0,015	0,010	0,022	0,017	0,014	0,022	0,044
NV	0,083	' 0.350	0,081	0,067	0,024	0,073	0,011	0,019	0,075	0,056	0,023
Na <sup>+</sup>	6,275	6.097	3,622	1,087	12,761	8,723	16,510	2,279	4,761	5,329	4,635
K <sup>+</sup>	5,648	11,897	4,402	4,955	6,803	6,438	5,245	4,346	15,056	5,766	3,592
Fe <sup>3+</sup>	0,005	0,003	0,006	0003	0,001	0,016	0,009	0,011	0,002	0002	0,005

#### ***IV.4. Catégorisation hydrodynamique des résurgences de Bamba-kilenda***

Le parcours de l'eau dans le sol dépend surtout des caractéristiques du sol. Ainsi, l'on distingue plusieurs types de nappes. Cependant, une corrélation établie entre nos points et ses différents types de nappes.

##### ***a) Les nappes souterraines, dites nappes captives***

Ce sont des nappes profondes (plusieurs dizaines voire centaines de mètres) qui ne sont pas en contact avec l'atmosphère. Le terme captif signifie que l'aquifère est délimitée par une couche géologique imperméable constituant le toit. L'alimentation de la nappe a lieu en bordure de l'aquifère à partir des quelques zones d'affleurement des roches perméables et par des voies de communication souterraine. La nappe étant captive, les eaux peuvent jaillir lorsqu'un forage perce le toit. C'est effectivement le cas de Niwa Mobutu observé à Kimbinga. Sur ce site, les eaux sont sous pression et le forage est artésien. Toutefois, le sondage est sur le tracé de faille de Bamba-kilenda qui est probablement hermétique localement. La source de Niwa Mobutu serait semi-active, dans une région où les connexions résultent du réseau de fissures consécutives à la faille.

##### ***b) Les Nappes libres***

Ce sont les nappes dont la surface piézométrique fluctue sans contrainte. La nappe est alimentée par l'eau de pluie sur toute la surface piézométrique. Le niveau de la nappe s'élève et s'abaisse par gravité. Les nappes sont dites phréatiques. Elles débordent à travers les fractures et autres zones de faiblesse pour donner naissance à des résurgences. Les nappes de SAFI, LIBULU, BANZOYI, LIBYE, MPUDI-KEMBO, MASUMU MISSIONI et les KILUMBU appartiennent à cette catégorie. La plupart sont localisés le long de la zone failleuse ou le long de contacts stratigraphiques.

Le grand réservoir demeure le noyau de l'anticlinal qui est CIII (shisto-calcaire de Bangu), Les eaux remontent par la faille et alimentent les affluents de la Mobi. Les sources de Kilumbu 1 et Mpudi-Kembo sont dans la zone axiale de l'anticlinal. Elles seraient liées à une fissure axiale.

#### ***IV.5. Caractéristiques chimiques des résurgences de Bamba-kilenda***

L'évolution de sels dissous permet de différencier les eaux sur base du rapport alcalin et alcalinoterreux. On distingue:

- Eaux à excès d'alcalins ou eaux chlorurées :  $K + Na > Mg + Ca$
- Eaux à excès d'alcalinoterreux ou carbonatés :  $K + Na < Mg + Ca$

Nous remarquons que la somme des alcalins ( $K + Na$ ) est supérieure à celle des alcalinoterreux ( $Mg + Ca$ ) pour toutes les sources. Lorsque nous considérons les teneurs admises par les normes françaises de potabilité, la plupart des éléments sont dans les limites du tolérable, à l'exception baryum, du plomb et du potassium.

Le baryum est excédentaire dans les eaux de la plupart des sources, sauf Masungu (0, 50 mg/l), Libulu (0, 25 mg/l) et Mpudi-kembo (0,050 mg/l). La teneur maximale est observée à Banzoyi (2,75mg/l). La répartition des teneurs anormales délimite une bande orientée parallèlement au cours de la Lukunga. Elle alimente quelques affluents de la Mobi et de la Lukunga qui y prennent sources. Au niveau de la localité de Bamba-kilenda, la bande est limitée au bloc nord de la faille d'où partent les affluents de la Mobi. Cette observation semble montrer que le cours de la Lukunga est surimposé à l'anticlinal de Bamba-Kilenda suivant une zone de faille orientée SW-NE et englobant les sites anormales en baryum.

*Le plomb* est excédentaire dans tous les sites de prélèvement, a curieusement un maximum à Banzoyi (64.6 mg/l). Le plomb provoque le saturnisme; ce qui doit inquiéter les autorités sanitaires.

Quant au *potassium*, il a une distribution généralisée au-delà des normes françaises de potabilité d'eau (100mg/l). Pour cet élément, la teneur maximale est observée toujours au site de Banzoyi (587.2mg/l), suivi par celui de Niwa (463.97mg/l). Rien que du point de vue de ces éléments, la source de Banzoyi offre l'eau la plus nocive de la région.

#### IV.6. Extension des teneurs anormales

Compte tenu des anomalies observées pour le baryum, le plomb et le potassium, nous essayons de vérifier leurs extensions à partir de la bande baryfère, selon un pas de 500m en direction SW-NE au moyen des semi-variogrammes dressés à partir des teneurs (en mg/l) de Kilumbu, de Banzoyi et de Safi (Cfr tableau ci-dessous).

**Tableau n° 7: Teneurs en Ba, K, Pb des Kilumbu, Banzoyi et Safi**

Éléments	KL1	KL1-2	KL2	KL3	KL-BN	BN	BN-SF
Ba	1,35	1,43	1,50	1,00	1,88	2,75	2,05
K	181,36	229,27	265,30	251,10	419,15	587,2	406,04
Pb	49,50	49,24	48,97	60,47	62,54	64,60	57,54

Les valeurs de semi-variogrammes expérimentaux sont les suivantes:

$$\text{Ba} : (0,20)^2 ; (0,34)^2 ; (0,37)^2 ; (0,39)^2 ; (0,59)^2 ;$$

$$\text{K} : (7558)^2 ; (14433)^2 ; (21068)^2 ; (34078)^2 ; (48988)^2$$

$$\text{Pb} (15,9)^2 ; (35,3)^2 ; (68,8)^2 ; (79,9)^2 ; (74,2)^2 ;$$

Les moyennes des analyses sont de 1,71mg/l pour le baryum. 334mg/l pour le potassium et 56,12mg/l pour le plomb.

Les normes françaises étant de 0,94mg/l pour le baryum ; 100mg/l pour le potassium et 0,1mg/l pour le plomb, elles permettent de voir à quelle distance des sites extrêmes chacune des normes est atteinte. Les teneurs en baryum suivent un modèle sphérique de portée 2000m et de palier ajusté à  $[0,43(\text{mg/l})^2]$  (fig. n 7). Celles du plomb suivent un modèle trinôme de portée 2000m et de palier  $[74,5(\text{mg/l})^2]$ . Enfin, les teneurs en potassium présentent un modèle binôme sans palier, d'extension régionale.

Les semi-variogrammes modèles des écarts-types de 0,93mg/l pour le baryum ; 12,21mg/l pour le plomb et 261,7mg/l pour le potassium à une portée de 2000m. au de la portée de 2000 m les normes françaises sont atteintes aux distances respectives suivantes :

$$\text{Ba} : 2000 \text{ m} (1,71 - 0,9) / 0,93 = 1742 \text{ m}$$

Pb : 2000 m (56,12- 0,1)/ 12,21 = 9176 m

K : 2000 m (334- 100)/ 261,07= 1793 m

En d'autres termes le site de Banzoyi étant considéré comme le centre de la contamination, les eaux potables situées à 11676 hors de la portée des valeurs excédentaires en plomb dans la direction SW-NE. Endéans de cet intervalle, toute eau de consommation devrait être traitée jusqu'à une distance d'environ :

- 4242 m pour le baryum
- 4293 m pour le potassium
- 11676 m pour le plomb

Dans le sens W-E, le tableau n° 8 : donne les teneurs de sites anormaux selon le pas de 500m. Ainsi, le semi-variogramme du baryum, du plomb et du potassium suivent les modèles sphériques avec une portée de 1000m **Fig. 5**. Les teneurs moyennes étant de 1,89 mg/l pour le Ba; 56,31 mg/l pour le Pb et 343,05 mg/l pour le K, avec les écarts types de 0,97 mg/l pour le Ba; 8,94 mg/l pour le Pb et 289,83 mg/l pour le K à la portée de 1000m, on trouve les distances requises pour une teneur tolérable à chaque teneur.

Ba: 1000 m (1,89-0,97)/0,97 = 1021m;

Pb: 1000 m (56,31-0,94)/8,94 = 6287 m;

K: 1000 m (343,05-100)/289,83 = 839 m

A partir du site de Banzoyi, les eaux potables sont situées à 787 m, hors de portée des valeurs anormales en plomb dans la direction Ouest-Est. La région contaminée par le plomb a la forme d'un parallélogramme dont les diagonales mesurent 23352 m et 15574 m, soit une superficie d'environ 164 Km<sup>2</sup> sur centrée Banzoyi et équivalente à celle d'un rectangle de 18Km x 9,1Km.

Sur Banzoyi. En le comparant à un cercle, le rayon serait de 7.227 Km.

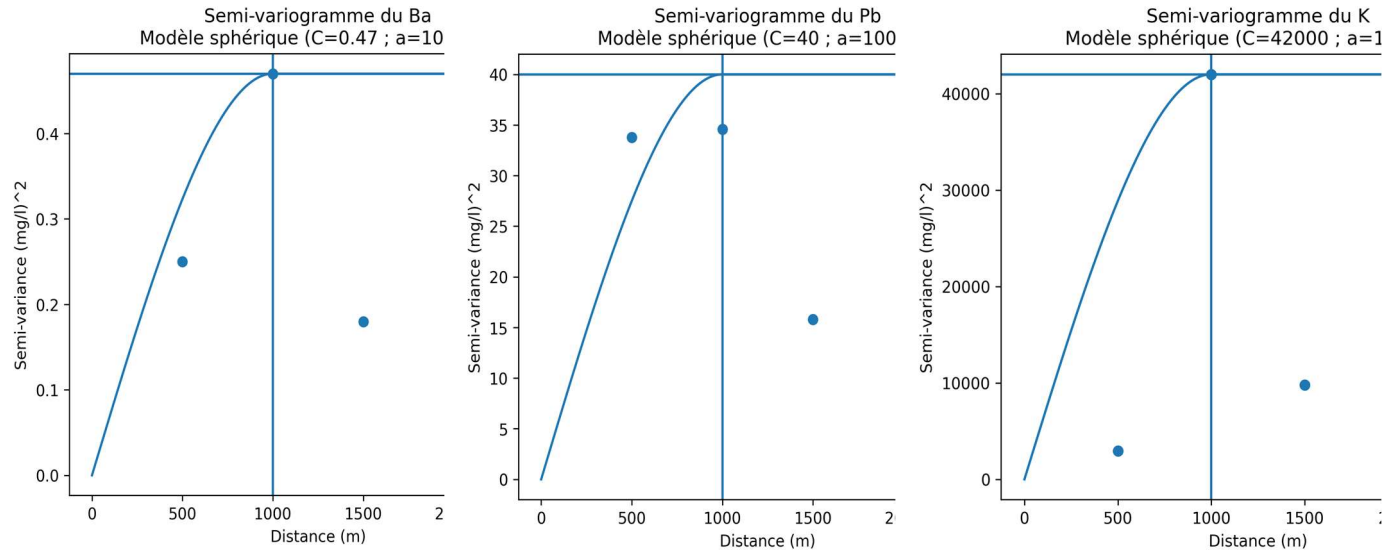
**Tableau n° 8: Teneurs en mg/l, direction W-E**

Éléments	MI	LIB	BN	BN-SF	SF	NM	$\bar{x}$
Ba	1,45	1,75	2,75	2,05	1,35	2,00	1,89
K	204,56	171,67	587,20	406,04	224,87	463,97	343,05
Pb	58,63	51,63	64,60	57,54	50,47	55,00	56,31

Valeurs de semi-variogrammes en (mg/l)<sup>2</sup>

-  $\gamma$  Ba : 0,25 0,47 0,18 0,02, 0,15

-  $\gamma$  Pb: 33,76 34,58 15,78 19,48, 6,59



7a. Baryum (C = 0,47 ; a = 1000 m)

7b. Plomb (C = 40 ; a = 1000 m)

7c. Potassium (C = 42000 ; a = 1000 m)

**Figure 5: Semi-variogrammes de teneurs de Ba, Pb, K subparallèlement à la faille de Bamba-Kilenda**

## V. DISCUSSION

Les analyses physico-chimiques réalisées sur les eaux de résurgence de Bamba-Kilenda mettent en évidence une altération significative de la qualité des eaux, fortement influencée par le contexte géologique, hydrodynamique et par l'héritage d'activités minières anciennes (Ilito DP, 2021). Les résultats révèlent que ces eaux sont globalement acides, minéralisées et localement contaminées par des métaux lourds, ce qui compromet leur potabilité.

Le pH constitue l'un des paramètres les plus critiques. À l'exception de la source de Niwa Mobutu, caractérisée par un pH basique, toutes les autres sources analysées présentent des valeurs acides (4, 2 à 5, 2), largement inférieures aux normes de potabilité. Cette acidité traduit une agressivité chimique élevée, qui favorise la dissolution et la mobilisation des éléments métalliques contenus dans les formations géologiques. Ce comportement est typique des eaux circulant dans des zones affectées par l'oxydation des sulfures, phénomène fréquemment observé dans les anciens sites miniers.

L'analyse ionique montre un déséquilibre entre anions et cations, avec un excès d'anions dans la majorité des échantillons, confirmant ainsi l'instabilité chimique des eaux et expliquant les faibles valeurs de pH. La source de Niwa Mobutu se distingue par un meilleur équilibre ionique, probablement lié à sa nature captive et artésienne, limitant les interactions avec les horizons superficiels oxydés.

Le contexte géologique et structural joue un rôle déterminant dans la composition chimique des eaux. La présence d'un anticlinal de Bamba-Kilenda, de formations schisto-calcaires (CIII de Bangu) et de failles régionales conditionne la circulation des eaux souterraines. Le noyau de l'anticlinal constitue un réservoir hydrogéologique important, tandis que les failles, notamment celle de Bamba-Kilenda orientée SW-NE, agissent comme des axes préférentiels de drainage des eaux minéralisées. Les résurgences localisées le long de ces structures présentent généralement des concentrations plus élevées en éléments dissous, traduisant une interaction prolongée eau-roche.

Parmi les substances indésirables analysées, le baryum, le plomb et le potassium dépassent largement les normes françaises de potabilité dans la majorité des sites. Le baryum présente des teneurs excédentaires, avec un maximum au site Banzoyi, et une distribution spatiale structurée suivant une bande orientée parallèlement au cours de la rivière Lukunga. Cette répartition suggère un contrôle litho-structural de la contamination, probablement lié à la dissolution de minéraux barytiques présents dans les formations locales.

Le plomb représente l'élément le plus préoccupant sur le plan sanitaire. Toutes les sources analysées affichent des concentrations très supérieures à la limite admissible, ce qui expose les populations locales à un risque élevé de saturnisme. L'origine de cette contamination semble résulter de la combinaison entre un substratum géologique enrichi en métaux et l'héritage des anciens travaux miniers, dont les effets persistent dans les aquifères.

Le potassium, bien que moins toxique, présente également des teneurs élevées et généralisées, témoignant d'une forte minéralisation des eaux et d'une interaction intense avec les formations géologiques encaissantes.

L'approche géostatistique basée sur les semi-variogrammes a permis de préciser l'extension spatiale des anomalies. Les modèles obtenus montrent que les contaminations en baryum et en plomb présentent des portées comprises entre 1000 et 2000 m, avec une extension plus importante dans la direction SW-NE, qui correspond à l'orientation des structures tectoniques majeures.

La zone contaminée par le plomb couvre une superficie estimée à **environ 164 km<sup>2</sup>**, centrée sur le site Banzoyi, ce qui en fait un foyer régional de pollution hydrogéochemique.

Ces résultats indiquent que, **dans leur état naturel, les eaux de résurgence de Bamba-Kilenda ont globalement impropres à la consommation humaine**. Les traitements classiques de potabilisation seraient insuffisants sans des procédés spécifiques d'élimination des métaux lourds. Cette étude met ainsi en évidence la nécessité d'une **gestion intégrée des ressources en eau**, tenant compte du contexte géologique et des risques sanitaires, ainsi que d'un suivi régulier de la qualité des eaux destinées à l'alimentation des populations locales.

## VI. CONCLUSION

L'étude des résurgences de la région de Bamba-kilenda nous a permis de constater que la plupart des sources de cette contrée trouvent leur origine des zones de faiblesse structurale résultant des contacts stratigraphiques tectonisés et de la proximité de la faille de Bamba-kilenda. Cette faille alimente les tributaires de la Lukunga et de la Mobi à partir d'un grand réservoir constitué par le Schisto-calcaire (CIII), affleurant au centre de l'anticlinal de Bamba-Kilenda. Les formations encaissantes de l'Inkisi et de Mpioka sont peu perméables.

La région est caractérisée, sur le plan minier, par des occurrences lenticulaires de baryte péné-contemporaines du gisement Zn-Pb-Cu de Bamba-Kilenda. L'influence de ces minéralisations sur les eaux souterraines a rendu ces dernières impropres à la consommation humaine du fait d'un excès en plomb, en baryum et en potassium susceptible de nuire à l'organisme.

Quoique les analyses couvrent une période restreinte, le site de Banzoyi présente les maxima en ses trois éléments dont le seuil global de tolérance, selon les normes françaises de potabilité de l'eau, se situerait à une distance de 11676 m du site dans la direction SW-NE et à 7787 m dans la direction W-E ; soit une superficie de près de 164 Km contaminée par le plomb, le plus extensif des éléments.

En conséquence, l'eau des résurgences devrait subir un traitement adéquat pour l'élimination du plomb, du baryum et du potassium excédentaire.

Compte tenu du fait que les populations avoisinantes consomment de cette eau depuis des siècles, il est suggéré que les services sanitaires fassent des investigations dans la région afin de dépister des maladies endémiques qui seraient dues à cette situation, et de voir si la population a pu s'adapter à des teneurs aussi élevées en plomb, en baryum et en potassium.

En attendant, la source d'eau la moins mauvaise, est celle de Mpudi-Kembo, située à quelque 2000 m au Sud-Est du village de Bamba-Kilenda et à 1500 m de Kinkosi.

## REFERENCES

- [1]. VILAGINES. R (2000): Eau, Environnement et Santé publique, éd. Tec. et Doc., paris
- [2]. CAHEN, L (1954 a): Géologie du Congo-Belge. Vaillant carmane, liège, Belgique 540p ;
- [3]. DEGREMONT et AU. (1978) : Mémento technique de l'eau, 8<sup>e</sup> éd., Paris ;
- [4]. LADMIRANT, H (1964): Notice explicative de la feuille de Léopoldville au 1/200.000<sup>e</sup>. Service géologique. Direction du service géologique. Ministère De Terres, mines et énergie, République démocratique du Congo ;
- [5]. LE BELLEGAR. M, J.p. Kerfyser (Mai 1993) : Science de la vie et de la Terre, Hatier, Paris, 23 5p ;
- [6]. O.M.S. (1986): Directives de qualité pour l'eau de boisson (3<sup>e</sup> vol.).
- [7]. RODIER. J (1984); L'analyse de l'eau 7<sup>e</sup> éd. Dunod, Paris ;
- [8]. BAMOCO (1947-1958) : Observations et rapports de Boulanger, R, Brandes, M.C., Courtejoie, L. De Groote, D., Elquine, J., Ferrante, M., Hanzir, A., Hardonk, L., Horrez, C.M., Krkhove, T., Kool, C.;
- [9]. BAUD, L (1963): Rapport documentaire sur le cuivre du Bas-Congo, conférence BL, Décembre 1963 ;
- [10]. CAHEN, L. (1954); Extension et age d'une minéralisation Cu-Pb-Zn en Afrique Centrale et Australe. Bull. Soc. Géol. Belge, Géol-Paléont- Hydrologie, 63 n<sup>o</sup>1 ;
- [11]. CAHEN, L. (1978) : La stratigraphie et la tectonique du Super groupe Ouest-Congolien Dans les zones médiane et externe de l'orogène Ouest- Congolien
- [12]. ILITO, DP. (2021) : Multiphase origin of polymetallic Zn-Pb-Cu (Au-Ag-Fe-V) ore deposits in the Bamba-Kilenda, in the foreland of the West Congo Belt (WCB), Kongo Central (Democratic Republic of Congo)