

## Evaluation des risques sanitaires liés à l'ingestion du nitrate de l'arsenic et mercure contenus dans les eaux souterraines d'un environnement minier aurifère

### [ Assessment of the health risks associated with the ingestion of nitrates, arsenic, mercury contained in the groundwater in the gold mining environment ]

*K. S. Konan, A. H. Y. Yapi, K. L. Akpetou, K. S. Gbamelé, D. L. Kouadio, and B. K. Dongui*

Mathématiques physiques Chimie Physique, UFR Environnement, Université Jean Lorougnon Guédé, BP 10, Daloa, Côte d'Ivoire

---

Copyright © 2019 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** The present study aims at assessing the health risks related to consumption of groundwater contaminated by Nitrate and heavy metals such as Arsenic and Mercury at the Ity goldfields. The levels of Nitrate contamination and those of metallic trace elements have been assessed according to the sulfosalicylic acid, by the AAS (Atomic Absorption Spectrophotometry) method, and by the AFS (Atomic Fluorescence Spectrometry) method, respectively. The reported results reveal that the surrounding populations are exposed to health risks with hazard levels greater than 1 for both Arsenic and Mercury in all investigated stations.

**KEYWORDS:** Waters, Pollution, Quality, Ingestion, Contamination, Population, Health risks.

**RESUME:** La présente étude vise à évaluer le risque sanitaire que court la population du prospect aurifère d'Ity (Côte d'Ivoire) lié à l'ingestion des nitrates, de l'arsenic et le mercure contenus dans les eaux souterraines. Les teneurs en nitrates et en éléments traces métalliques ont déterminées respectivement selon la norme ISO 7890-3, par la méthode de spectrophotométrie d'absorption atomique et par spectrométrie de fluorescence atomique. De ces résultats, on retient que cette population court des risques sanitaires avec des quotients de danger évalués supérieurs à 1 pour l'arsenic et le mercure dans toutes les stations.

**MOTS-CLEFS:** Eaux, Pollution, Qualité, Ingestion, Contamination, Population, Risques sanitaires.

## 1 INTRODUCTION

Les eaux issues des nappes souterraines et superficielles sont des ressources exploitées pour divers usages [1]. La composition chimique d'une eau issue du milieu naturel est très variable. Elle dépend de la nature géologique du sol et aussi des substances réactives qu'elle aurait pu rencontrer lors de l'écoulement. Ainsi, la composition quantitative et qualitative de l'eau souterraine en matières en suspension et dissoutes, de nature minérale ou organique, détermine sa qualité [2]. Cependant, cette qualité peut être altérée lorsque des substances entrent en contact avec la nappe aquifère. Tel est le cas des substances indésirables qui rendent l'eau souterraine impropre pour la consommation domestique [3]. Dans les pays en développement, obtenir une eau saine est devenu un sérieux problème du fait d'un manque de protection de l'environnement [4]. Dans le prospect aurifère d'Ity (Zouan Hounien, Côte d'Ivoire), la qualité des eaux de boissons est une source de préoccupation pour les autorités locales. En effet, dans cette région éloignée de l'ouest de la Côte d'Ivoire, les sources de pollution métalliques des eaux souterraines sont nombreuses. Nous pouvons citer entre autres, une pollution d'origine

naturelle due aux caractéristiques géochimiques particulier du prospect aurifère, le bassin de décantation de la mine d'or d'Ity et les eaux d'infiltration issues des stériles et des résidus de traitement miniers sont autant de vecteurs de pollution qui peuvent dégrader la qualité chimique des eaux souterraines [5], [6]. En outre, les sources d'approvisionnement de la population en eau de boisson notamment, les puits paysans et les forages se trouvent aux abords des villages ou même au milieu des habitations où l'insalubrité est remarquable. Par conséquent, ces eaux souterraines peuvent être victimes de polluants organiques issues des activités domestiques : latrines, dépôts d'ordures, infiltration des eaux sales, etc. [3], [7].

En Côte d'Ivoire, les études effectuées en zone rurale et sur les eaux souterraines ont eu pour objectif principal l'évaluation de leurs qualités chimiques [8], [9], [10], [11], [6]. Cependant, peu de travaux se sont intéressés à l'évaluation des risques sanitaires qu'en courent les populations liées à la consommation de ces eaux de boissons (eaux souterraines).

Pour cette étude, il convient pour le besoin de la santé publique de cerner la qualité chimique et d'évaluer les risques sanitaires liés à la consommation des eaux souterraines dans le prospect aurifère d'Ity. Cette évaluation quantitative des risques sanitaire est d'autant plus importante compte tenu de la vulnérabilité ces populations vivant en zone forestière. Pour ce faire, nous avons déterminé les concentrations en arsenic, en mercure et en nitrates des eaux souterraines des villages de SMI ( $S_1$ ), Débarkadaire ( $S_2$ ), Daapleu ( $S_3$ ), Kouizonpleu ( $S_4$ ) et Gaapieu ( $S_5$ ) de ce prospect et par calcul déterminer les risques de toxicités liés à l'ingestion de ces substances dans les eaux de boissons pour toute une vie.

## **2 MATERIELS ET METHODES**

### **2.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE**

Ity est un village situé à l'ouest de la Côte d'Ivoire, dans la région du Tonkpy. Le village d'Ity se trouve à 740 km de la ville d'Abidjan. On y accède en passant par la ville de Man. L'étude hydrologique montre que la zone d'étude est arrosée par la fleuve Cavally et son affluent le Nuon. Cependant, plusieurs villages doivent faire face à une sérieuse pénurie d'eau pendant la grande saison sèche [12]. Les sols de type ferrallitique à fertilité chimique moyenne sont dominants dans la région et présentent, d'une manière générale, un faible couvert végétal. Il y existe également des sols développés sur des roches basiques, des sols hydro-morphes dans les bas fonds. La géologie locale est difficile à définir, car il n'existe pas d'affleurement dans la zone [13]. À cette difficulté, s'ajoute la présence d'une couverture végétale dense. Le gisement aurifère d'Ity est situé dans l'unité birimienne Toulépleu-Ity localisée à l'ouest de la faille du Sassandra, dans le domaine Kénema-Man. Cet ensemble s'oriente selon une direction NE-SW [13].

### **2.2 ECHANTILLONNAGE**

Les points d'échantillonnages ont été retenus en tenant compte des zones soumises à la pression des activités anthropiques. Sur cette base nous avons retenu 5 stations d'eaux souterraines ( $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$ ,  $S_4$  et  $S_5$ ) qui sont des forages. Ces forages, sont les principales sources d'approvisionnement de la population des villages SMI ( $S_1$ ), Débarkadaire ( $S_2$ ), Daapleu ( $S_3$ ), Kouizonpleu ( $S_4$ ) et Gaapieu ( $S_5$ ). Les échantillons d'eaux prélevés ont été mis dans des glacières avec du matériel réfrigérant.

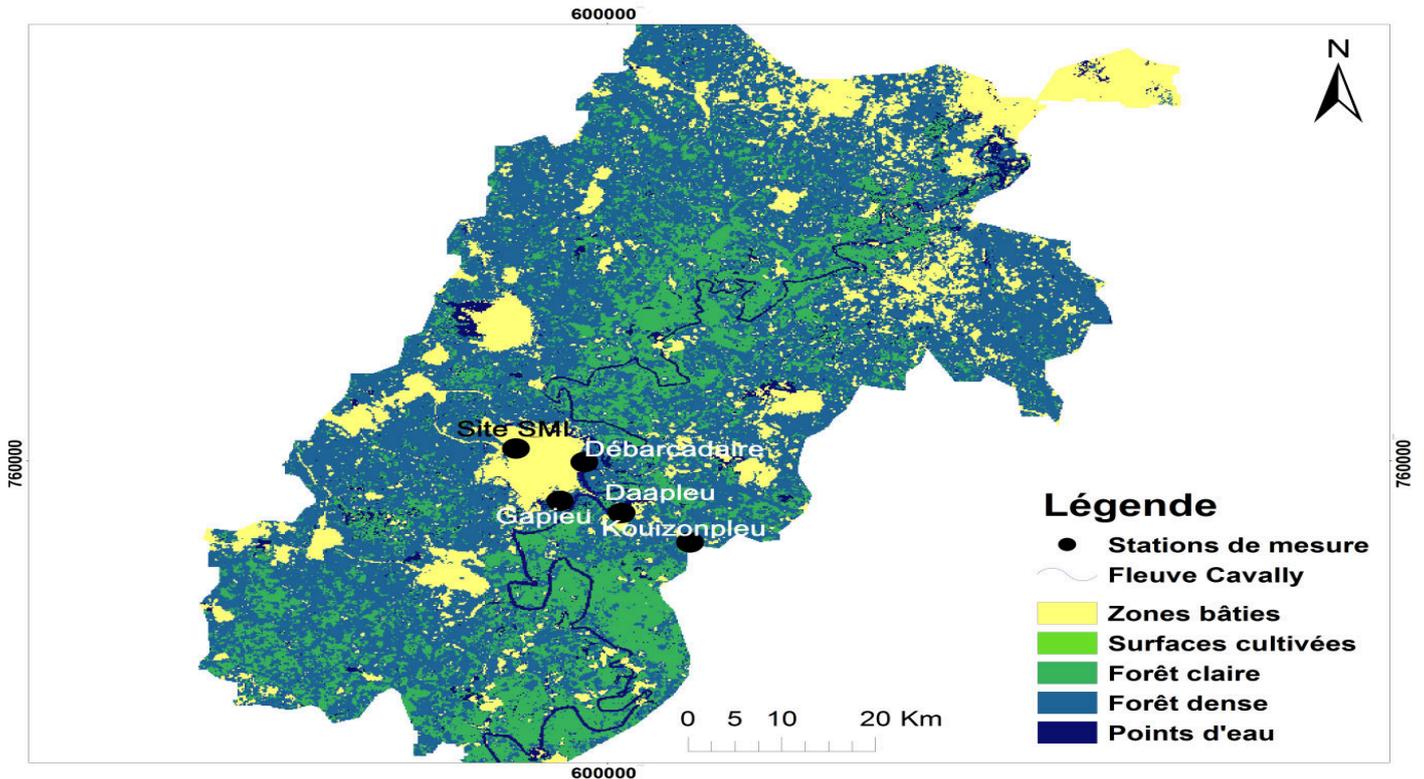


Fig. 1. Stations de prélèvements sur le périmètre d'exploitation de la SMI

### 2.3 MESURES DES PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUES

La température, le pH, la conductivité et le Total Solide Dissous (TDS) ont été mesurés *in situ* à l'aide du multi paramètre HACH Q 40d. Au laboratoire, les échantillons d'eaux ont été préalablement filtrés à l'aide d'un filtre GFC Wattman 0,45  $\mu\text{m}$ , puis les teneurs en nitrates, en arsenic et en mercure ont été mesurés respectivement par la méthode spectrométrique avec l'acide sulfosalicylique, par spectroscopie d'émission dont la source est un plasma généré par un couplage inductif (ICP-AES) et par spectrométrie de fluorescence atomique [14].

### 2.4 EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES LIÉS À LA CONSOMMATION DES EAUX POLLUÉES PAR LES ÉLÉMENTS TRACES MÉTALLIQUES (EFFET À SEUIL)

L'évaluation des risques sanitaires est une méthode qui permet d'estimer par calcul les risques pour la santé auxquels est soumise une population exposée à une pollution particulière d'origine industrielle ou naturelle. L'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation de l'eau polluée par les éléments traces suivra quatre principales étapes [15], [16].

- L'identification du danger des substances chimiques : elle permet de sélectionner les substances à prendre en compte dans l'évaluation quantitative du risque sanitaire (EQRS) et d'identifier les effets qui peuvent en dériver : effet aigu, subchroniques chronique, effet à seuil, effet sans seuil.
- L'évaluation de la relation dose réponse : elle a pour but de définir une relation quantitative entre la dose administrée ou absorbée et l'incidence de l'effet, à partir de laquelle on établit les valeurs toxicologiques de référence (VTR) ou Dose de Référence (RfD). Dans le cadre de cette étude, les VTR relatives aux éléments étudiés seront choisies d'après [17], [18], [19].
- L'évaluation de l'exposition : Cette étape consiste à déterminer les voies de passage de la substance étudiée de la source vers le récepteur humain, ainsi qu'à estimer la fréquence, la durée et l'importance de l'exposition. Ceci aboutit au calcul de la dose journalière d'exposition (DJE). Les scénarios d'exposition où l'individu est le plus exposé (hypothèse maximaliste) seront utilisés. De ce fait, nous envisageons les scénarios d'exposition suivants :

Dans cette étude, la consommation moyenne en eau de boisson est estimée à 2 L par jour (soit 2kg/j) pour les adultes et à 1 L par jour (soit 1kg/j) pour les enfants et 0,75 L (soit 0,75 kg/j) par jour pour les nourrissons [20]. Il sera considéré que l'individu

consomme cette quantité d'eau 7 jours/7 jours. La dose journalière d'exposition aux polluants par la consommation de l'eau polluée est déterminée de la manière suivante:  $DJE = C \times Q \times F / P$

DJE : Dose journalière d'exposition liée à la consommation de l'eau polluée (mg/kg/j) ;

C : Concentration d'exposition relative à l'eau polluée exprimée en mg/kg;

Q : Quantité de l'eau consommée par jour, exprimée en kg/j ;

F : Fréquence ou taux d'exposition (sans unité): l'eau est consommée 7j/7j d'où F= 1;

P : Poids corporel de la cible (kg) ;

Le poids corporel moyen des nourrissons de 0 à 2 ans 5 kg, des enfants de 2 à 15 ans 10 kg et celui d'un adulte est conventionnellement égale à 60 kg [17] ;

- La caractérisation du risque : représente une estimation de l'incidence et de la gravité des effets indésirables susceptibles de se produire dans une population humaine en raison de l'exposition à l'ensemble des substances. La caractérisation du risque pour les effets à seuil est exprimée par le quotient de danger (QD). Il est calculé pour la voie d'exposition orale (consommation de l'eau) de la manière suivante :  $QD = DJE / RfD$

DJE = Dose Journalière d'Exposition (mg/kg/j) RfD = Dose de Référence (mg/kg/j) ou VTR.

Si  $QD < 1$  la survenue d'un effet toxique est peut probable ;

Si  $QD > 1$  l'apparition d'un effet toxique ne peut pas être exclu.

Cette formule s'applique à chaque substance prise individuellement et ne renseigne pas sur l'effet résultant de l'exposition à un mélange de substances.

## **2.5 EVALUATION DU NIVEAU DE RISQUE ASSOCIÉ À UN DÉPASSEMENT DE LA LIMITE DE QUALITÉ PENDANT TOUTE UNE VIE (EFFET SANS SEUIL).**

Les substances cancérigènes génotoxiques comme l'arsenic sont considérées agissant sans seuil et à des niveaux d'exposition même très faibles sont associés à des risques de cancer. Dans cette étude, nous avons calculé l'Excès du Risque Individuel (ERI) associé à l'ingestion pendant les vies entières de 70 [20] et 58 [21] ans respectivement pour la population mondiale et ivoirienne, d'une eau dont la concentration  $C_i = n * C_{LQ}$  est supérieure à la limite de qualité.

$$ERI_{(n * C_{LQ}, 70 \text{ ans})} = 10 \left[ \left( n * C_{LQ} * \frac{\text{Consommation}}{\text{Poids}} \right) * ERU * \left( \frac{2 \text{ ans}}{70 \text{ ans}} \right) \right] + 3 * \left[ \left( n * C_{LQ} * \frac{\text{Consommation}}{\text{Poids}} \right) * ERU * \left( \frac{13 \text{ ans}}{70 \text{ ans}} \right) \right] + 1 * \left[ \left( n * C_{LQ} * \frac{\text{Consommation}}{\text{Poids}} \right) * ERU * \left( \frac{55 \text{ ans}}{70 \text{ ans}} \right) \right]$$

ERI : Excès de risque individuel

ERU : Excès de Risque Unitaire

$C_{LQ}$ : Concentration égale à la limite de qualité

Il faut noter qu'afin de prendre en compte une éventuelle susceptibilité particulière des nouveaux nés et des jeunes enfants, l'US-EPA propose d'appliquer un facteur de 10 pour une période allant à 2 ans et un facteur de 3 pour la période de 2 à 15 ans.

## **3 RESULTATS ET DISCUSSION**

### **3.1 RÉSULTATS**

#### **3.1.1 TEMPÉRATURE, PH, CONDUCTIVITÉ, TOTAL SOLIDE DISSOUS DES EAUX**

La température des eaux souterraines est comprise entre 27,25 et 25,9°C avec une valeur moyenne de 26,3 °C. Les résultats d'analyse de l'eau montrent que le pH des eaux des souterraines varie de 6,1 ( $S_3$  et  $S_5$ ) à 7,3 ( $S_1$ ). Dans l'ensemble, on constate une faible minéralisation des eaux étudiées. En effet, la conductivité des eaux des stations  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  et  $S_5$  est inférieure à 100  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$  à l'exception des souterraines du village de Kouizonpleu ( $S_4$ ) qui ont la plus forte conductivité (400  $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$ ). Comme pour la conductivité, les eaux de boissons du village de Kouizonpleu ( $S_4$ ) ont de forts taux de solides dissous (200 mg/L) (Tab. 1). Cependant, les teneurs en TDS dans les autres stations sont toutes inférieures à 50 mg/L.

**Tableau 1. Température, pH, conductivité, Total Solide Dissous (TSD)**

	Température (°C)	pH	Conductivité (µS/cm)	TDS (mg/L)
S <sub>1</sub>	25,7	7,3	55,5	23,6
S <sub>2</sub>	27,3	6,3	36,75	14,42
S <sub>3</sub>	26,4	6,1	67,3	31,07
S <sub>4</sub>	26,2	6,8	400	202
S <sub>5</sub>	25,9	6,1	19,65	6,6

### 3.1.2 ARSENIC ET MERCURE ET NITRATES DANS LES EAUX SOUTERRAINES

Les concentrations en nitrates dans les eaux étudiées sont relativement faibles. En effet, elles ne dépassent pas 40 mg/L (Tab. 2) avec une concentration maximale dans les eaux souterraines du village de Kouizonpleu (S<sub>3</sub> (35,5 mg/L)).

**Tableau 2. Teneurs de nitrates (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), d'arsenic (As) et de mercure (Hg) dans les eaux souterraines**

	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/L)	As (mg/L)	Hg (mg/L)
S <sub>1</sub>	12,47	0,023	0,018
S <sub>2</sub>	10,2	0,035	0,005
S <sub>3</sub>	35,5	0,021	0,02
S <sub>4</sub>	8,3	0,015	0,013
S <sub>5</sub>	24,52	0,007	0,008

Le Tab. 2, présente également les résultats obtenus pour l'arsenic et le mercure dans les stations d'eaux souterraines (eaux de boisson) S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> et S<sub>5</sub>. De ces résultats, on note, la présence de ces éléments traces métalliques (ETM) dans toutes les eaux de boissons. Les concentrations maximales d'arsenic et de mercure ont été déterminées respectivement dans les eaux souterraines des villages de Debarkadaire (S<sub>2</sub> (0,035 mg/L)) et Daapleu (S<sub>3</sub> (0,02 mg/L)). On note également que pour la majorité des stations d'eaux souterraines, les teneurs en arsenic sont supérieures à celles du mercure à l'exception de la station S<sub>5</sub>.

### 3.1.3 EVALUATION DES RISQUES LIÉS À LA CONSOMMATION DES EAUX DE BOISSONS DE LA ZONE AURIFÈRE D'ITY (EFFET À SEUIL)

Pour cette étude, nous avons évalué les risques sanitaires à l'ingestion de l'arsenic et du mercure et des nitrates contenus dans les souterraines du prospect aurifère d'Ity. Ceci, à cause de leur présence dans un environnement minier, de la disponibilité de leur VTR et de leurs effets toxiques sur la santé humaine. Cette évaluation porte sur la voie orale et concerne les expositions chroniques uniquement. Les VTR retenues pour cette étude sont celles issues principalement des études épidémiologiques chez l'homme, les plus protectrices donc les plus faibles et les années de révision les plus récentes. Ainsi, l'OMS préconise-t-elle pour le As 3 10<sup>-4</sup>mg/Kg/j [17] le mercure 3 10<sup>-4</sup>mg/Kg/j [18] et pour les nitrates 3,65 mg/Kg/j [19], les résultats ci-dessous ont été obtenus à partir des concentrations moyennes des métaux pour toutes les stations d'eaux souterraines.

Les résultats de l'évaluation de l'exposition à l'As, au Hg et aux nitrates liés à la consommation de l'eau ainsi que les quotients de danger (QD) correspondants chez les adultes, les enfants et les nourrissons sont reportés dans les tab. 3, 4 et 5.

La survenue d'un effet toxique provenant des nitrates liés à la consommation des eaux souterraines des villages de SMI (S<sub>1</sub>), Débarkadaire (S<sub>2</sub>), Daapleu (S<sub>3</sub>), Kouizonpleu (S<sub>4</sub>) et Gaapleu (S<sub>5</sub>) est peu chez les adultes. Cependant, Chez les nourrissons et les enfants (Tab. 3), on peut s'attendre à des effets toxiques pour la consommation des eaux de boissons des villages de Daapleu (S<sub>3</sub>) et Gaapleu (S<sub>5</sub>).

Concernant l'arsenic et le mercure (Tab. 4,5) toute la population vivant dans ce prospect aurifère coure des risques liés à la consommation des eaux souterraines. En effet, les quotients de danger calculés pour toute cette population sont tous supérieurs à 1 (QD>1). Il faut noter que pour ETM étudiés les adultes du village de Gaapleu courent moins de risques (0,5 < QD < 1).

L'on trouve également que les quotients de danger issus de la consommation de l'eau chez les nourrissons et les enfants sont tous supérieurs à ceux des adultes pour toutes les substances étudiées.

Tableau 3. Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les nourrissons, les enfants et les adultes pour les nitrates

Stations	Conc. (mg/Kg)	DJA (mg/Kg)	P			DJE			Q		
			Nou*	Enf*	Adt*	Nou	Enf	Adt	Nou	Enf	Adt
S <sub>1</sub>	12,47	3,65	5	10	60	1,87	1,25	0,42	0,51	0,34	0,12
S <sub>2</sub>	10,2	3,65	5	10	60	1,53	1,02	0,34	0,42	0,28	0,09
S <sub>3</sub>	35,5	3,65	5	10	60	5,32	3,6	1,18	1,46	0,7	0,32
S <sub>4</sub>	8,3	3,65	5	10	60	1,25	0,83	0,28	0,34	0,23	0,075
S <sub>5</sub>	24,52	3,65	5	10	60	3,68	2,45	0,8	1,01	0,67	0,2

\*Nou. Nourrisson, Enf. Enfant, Adt. Adulte

Tableau 4. Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les nourrissons, les enfants et les adultes pour l'arsenic

Stations	Conc. (mg/L)	DJA(mg/Kg p.c.j)	P(Kg)			DJE(mg/Kg p.c.j)			QD		
			Nou	Enf	Adt	Nou	Enf	Adt	Nou	Enf	Adt
S <sub>1</sub>	0,023	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	3,4510 <sup>-3</sup>	2,3 10 <sup>-3</sup>	7,710 <sup>-4</sup>	11,5	7,67	2,57
S <sub>2</sub>	0,035	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	5,2510 <sup>-3</sup>	3,5 10 <sup>-3</sup>	1,110 <sup>-3</sup>	17,5	11,67	3,3
S <sub>3</sub>	0,021	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	3,1510 <sup>-3</sup>	2,110 <sup>-3</sup>	7 10 <sup>-4</sup>	10,5	7	2
S <sub>4</sub>	0,015	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	2,1510 <sup>-3</sup>	1,5 10 <sup>-3</sup>	5 10 <sup>-4</sup>	7,17	5	1,43
S <sub>5</sub>	0,007	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	1,0510 <sup>-3</sup>	7 10 <sup>-4</sup>	2,310 <sup>-4</sup>	3,5	2,3	0,77

Tableau 5. Dose journalière d'exposition et quotient de danger chez les nourrissons, les enfants et les adultes pour le mercure

Stations	Conc. (mg/L)	DJA (mg/Kg p.c.j)	P			DJE (mg/Kg p.c.j)			QD		
			Nou	Enf	Adt	Nou	Enf	Adt	Nou	Enf	Adt
S <sub>1</sub>	0,018	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	2,710 <sup>-3</sup>	1,810 <sup>-3</sup>	6 10 <sup>-4</sup>	9	6	2
S <sub>2</sub>	0,005	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	7,5 10 <sup>-4</sup>	5 10 <sup>-4</sup>	1,710 <sup>-4</sup>	2,5	1,67	0,57
S <sub>3</sub>	0,02	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	310 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	6,710 <sup>-4</sup>	10	6,67	2,23
S <sub>4</sub>	0,013	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	210 <sup>-3</sup>	1,310 <sup>-3</sup>	4,310 <sup>-4</sup>	6,5	4,43	1,43
S <sub>5</sub>	0,008	310 <sup>-4</sup>	5	10	60	1,2 10 <sup>-3</sup>	8 10 <sup>-4</sup>	2,710 <sup>-4</sup>	4	2,67	0,9

### 3.2 EVALUATION DES RISQUES LIÉS À LA CONSOMMATION DES EAUX DE BOISSONS DE LA ZONE AURIFÈRE D'ITY (EFFET SANS SEUIL)

Les résultats du tableau 6 mettent en évidence les risques associés au dépassement de limite de qualité pour les effets sans seuil (arsenic) pour toute vie et pour les effets de cancer de la peau.

Tableau 6. Estimation du niveau de risque lié à l'ingestion d'une eau présentant un dépassement de la limite de qualité en arsenic (0,01 µg/L) [20]

Stations	Niveau de dépassement de la valeur guide C <sub>i</sub> (mg/L)	Dépassement pour toute une vie (70 ans)	Dépassement pour toute une vie (51 ans)
S <sub>1</sub>	2,3 * 0,01	4,3 10 <sup>-3</sup>	4,9 10 <sup>-3</sup>
S <sub>2</sub>	3,5 * 0,01	6,5 10 <sup>-3</sup>	8,2 10 <sup>-3</sup>
S <sub>3</sub>	2,1 * 0,01	4,1 10 <sup>-3</sup>	4,5 10 <sup>-3</sup>
S <sub>4</sub>	1,5 * 0,01	2,9 10 <sup>-3</sup>	3,710 <sup>-3</sup>
S <sub>5</sub>	0,7*0,01	1,110 <sup>-3</sup>	1,510 <sup>-3</sup>

Du tableau 6, on retient que les probabilités d'apparition de cancers de la peau pour les deux types de population sont du même ordre de grandeur. Cependant, elle est plus élevée au niveau de la population ivoirienne. Aussi, pour des teneurs inférieures à la limite de qualité (S<sub>5</sub>), les probabilités de risques de cancers sont du même ordre que celle supérieures à cette limite.

### 3.3 DISCUSSION

#### 3.3.1 PARAMÈTRES PHYSICOCHIMIQUE ÉTUDIÉS

La température des eaux souterraines est de 26,3°C. Comparée à la directive de l'OMS, l'eau de du prospect aurifère d'Ity semble chaude. Mais, cette région se trouvant dans un pays tropical, la température ambiante moyenne descend très rarement en dessous de 25 °C. C'est pourquoi, selon [22], 30 °C doit être considérée comme une température moyenne des eaux souterraines en Afrique de l'Ouest à cause des conditions climatiques.

Les valeurs de pH obtenues sont caractéristiques des eaux souterraines [23]. Les eaux de boissons des stations S<sub>1</sub> et S<sub>4</sub> ont des pH compris entre les valeurs préconisées par l'OMS (6,5-9,5) [24] en ce qui concerne l'eau potable.

Les résultats obtenus concernant la minéralisation des eaux sont en accord avec ceux obtenus par [11] sur les eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duékoué. Ce qui laisse suggérer que les eaux souterraines de l'ouest montagneux Ivoiriens sont faiblement minéralisées. Cependant, [25] et [26] ont montré que, des eaux souterraines (eaux de boissons) en Côte d'Ivoire pouvaient être fortement minéralisées et atteindre respectivement les valeurs 1750 et 1450 µS.Cm<sup>-1</sup>.

Les solides totaux dissous (TDS) décrivent les sels inorganiques présents en solution dans l'eau indiquant présence de calcium, magnésium, des carbonates, sulfates et des chlorures. Ces faibles mesurés au notre étude laissent supposer la présence de faibles teneurs en cations et en anions dans les eaux souterraines.

La présence des nitrates dans les eaux souterraines révèle la vulnérabilité de ces eaux car elles sont considérées comme être à l'abri de la pollution [27], [28]. Par contre, les faibles teneurs constatées laissent suggérer une pollution récente en nitrates. Les polluants domestiques sont la source principale de présence de sels nutritifs (nitrates) dans les eaux souterraines. En effet, ses forages se trouvent au milieu des habitations. En outre, nous avons constaté le vieillissement de ces installations. Ce qui pourrait amener à penser que les équipements installés pour les protéger contre les activités anthropiques ne soient plus efficaces. La référence [29] a fait ce même constat au cours de l'étude des eaux souterraines de la nouvelle boucle du cacao dans le département de Soubré. Aussi, les activités d'exploitation aurifère entraînent-elles la destruction de la forêt produisant ainsi de la matière organique qui en se décomposant libère de l'azote. Cet azote sera ensuite lessivé à la suite des pluies abondantes qui tombe sur la région occasionnant la pollution des eaux de surfaces et souterraines. En plus, la région étant une zone forestière agricole, les apports de ces activités dans la minéralisation sont marqués par l'enrichissement des eaux en sels nutritifs [30].

La présence d'arsenic et mercure peut être due à la dissolution des minéraux sulfureux comme l'arsénopyrite présents généralement dans les sols aurifères [5] et aux caractéristiques géochimiques propres aux différentes stations. Ces concentrations déterminées sont toutes inférieures aux teneurs déterminés dans les eaux souterraines lors de l'étude du prospect aurifère de Bonikro (Côte d'Ivoire) [6]. En outre, les teneurs d'arsenic et de mercure déterminées sont toutes supérieures aux normes OMS d'eaux destinées à la consommation humaine sauf pour le mercure à la station S<sub>2</sub>(0,005 mg/L) et l'arsenic S<sub>5</sub> (0,007 mg/L). Ces valeurs guides sont de 0,01 mg/L [24] pour l'arsenic et de 0,006 mg/L [24] pour le mercure.

#### 3.3.2 EVALUATION QUANTITATIVE DES RISQUES SANITAIRES (EQRS)

De notre étude, on retient que la survenue d'un effet toxique lié à l'ingestion des nitrates contenus dans les eaux de boisson est peu probable. L'étude de la toxicité des nitrates et de leurs dérivés transformés dans l'organisme les nitrites et les nitrosamines, a donné lieu à de nombreuses publications scientifiques, souvent contradictoire. Historiquement, les nitrates et leurs dérivés ont été incriminés dans la survenue à long terme d'un cancer digestif dans la population générale [19], [31], [32]. Les acquisitions récentes concernant le métabolisme des nitrates ainsi que l'analyse des données expérimentales et de la littérature épidémiologique accumulée depuis une trentaine d'années montrent que leur toxicité pour l'homme a été largement surestimée [19]. A l'opposé des nitrates l'ingestion d'arsenic et de mercure contenus dans les eaux de boissons peut causer des risques sanitaires à la population vivant dans notre zone d'étude. Cependant, leurs concentrations sont très faibles par rapport aux nitrates. Nous pouvons l'expliquer par leurs faibles Valeurs Toxicologiques de Références (VTR).

Aussi, malgré la faible consommation journalière d'eau 0,75L pour le nourrisson, 1L pour l'enfant contre 2L pour l'adulte d'après notre scénario d'exposition, la survenance d'effet toxique chez les nourrissons et les enfants serait due à leur faible poids corporel et de leur fragilité sur le plan physiologique étant donné que les contaminants sont facilement absorbés dans leur organisme [33].

Par ailleurs, on retient qu'une substance peut avoir une teneur inférieure à la valeur guide de l'OMS mais présenter des risques sanitaires pour la population. En effet, les concentrations en nitrates, mercure et arsenic respectivement dans les

stations S<sub>3</sub> (35,5 mg/L), S<sub>5</sub> (0,005 mg/L) et S<sub>5</sub> (0,007mg/L) traduisent ce constat avec des quotients de danger supérieur à 1. En outre, les stations S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> et S<sub>5</sub> se trouvant dans le prospect aurifère d'Ity, il n'est pas exclu que les habitants des villages SMI (S<sub>1</sub>), Débarkadaire (S<sub>2</sub>), Daapleu (S<sub>3</sub>), Kouizonpleu (S<sub>4</sub>) et Gaapieu (S<sub>5</sub>) utilise ces eaux souterraines comme eau de boisson sans aucun traitement préalable tout en ignorant les effets de ces substances sur la santé de l'homme. Il faut noter, que cette population coure moins de risques liés à l'ingestion de l'arsenic et du mercure que celle vivant dans le prospect aurifère de Bonikro (Côte d'Ivoire) [6]. En effet, les études effectuées par [6] ont révélé des teneurs moyennes en arsenic et en mercure largement supérieures à celles déterminées au cours de cette étude. Ces risques se traduisent, par la survenue d'effets liés à l'ingestion de ces substances contenues dans les eaux souterraines (eaux de boissons).

L'arsenic et le mercure font partie des 10 métaux les plus toxiques. Dans les eaux naturelles l'arsenic inorganique est prédominant [34]. Les effets aigus, suite à l'ingestion d'arsenic inorganique, sont typiquement gastro-intestinaux associant nausées, vomissements, hémorragies gastro-intestinales, douleurs abdominales et diarrhées qui prennent parfois l'aspect « eau de riz », décrite sous le nom de « cholera arsenical », pouvant conduire au décès. Ces symptômes surviennent rapidement, dans les heures suivant l'ingestion [35], [36]. Quant au mercure, ses manifestations toxiques varient en fonction de sa nature [37]. L'organe cible du mercure inorganique est le rein où il peut induire une néphrite qui est une inflammation du rein [36]. Le mercure organique, essentiellement le méthylmercure, cible le système nerveux central [38] où il peut notamment causer une paresthésie (fourmillements, engourdissements, etc.), une ataxie (manque de coordination des mouvements volontaires) ou une neurasthénie (sensation générale de fatigue et de déprime).

Pour les substances cancérigènes comme l'arsenic, les calculs montrent une probabilité plus élevée d'apparition de cancer de la peau au sein de la population ivoirienne que celle de la population mondiale. Cela est dû à l'espérance de vie de cette population qui est inférieure à celle de la population mondiale. Pour une population ingérant ces eaux de boissons, les ERI obtenus sont supérieures  $10^{-5}$  [20]. Ce qui traduit de fortes probabilités d'apparition de cancer cutané au sein de la population du prospect aurifère d'Ity. En effet, pour une population ingérant dès son plus jeune âge, pendant toute une vie des eaux dont les concentrations sont inférieures ou égales à 3,5 fois la limite de qualité développera au plus 9 cas de cancers supplémentaires pour une population de plus de 1000 habitants.

En outre, de cette étude, on retient que consommer des eaux contenant des ETM dont les concentrations sont inférieures à la limite qualité OMS peuvent occasionner des pathologies au sein de la population voire provoquer des cas de cancers. Les habitants du village de Gaapieu traduisent ce constat. En effet, les concentrations en arsenic sont inférieures à la limite de qualité (0,01 mg/L) cependant la probabilité d'apparition de cancer de la peau est réel. Cela se traduit par au plus deux cas de cancers cutané pour une population de 1000 habitants.

Il faut noter que compte tenu de la nature probabiliste de l'ERI, ces fortes valeurs d'ERI obtenus au cours de cette étude ne traduisent de cas certains de cancers cutanés.

#### **4 CONCLUSION**

De cette étude, on retient que les eaux souterraines du prospect aurifère d'Ity sont contaminées par les nitrates, l'arsenic et le mercure. On a pu observer des teneurs maximales en arsenic de 0,035 mg/L et du mercure de 0,02 mg/l dans les eaux souterraines qui sont supérieures aux normes de l'OMS pour l'eau potable. Ces résultats traduisent l'évidence de la mauvaise qualité de ces eaux souterraines.

Le calcul des quotients de danger pour les effets à seuil a révélé que toute la population de ce prospect aurifère coure de réels risques sanitaires liés à l'ingestion de l'arsenic et du mercure contenus dans les eaux de boissons. Cependant, pour les sels nutritifs, en particulier les nitrates, les nourrissons et les enfants peuvent courir des dangers en consommation les eaux souterraines des villages de Daapleu (S<sub>3</sub>) et Gaapieu (S<sub>5</sub>).

En outre, nos études ont mis en évidence des risques de cancer de la peau pour les substances à effets sans seuil comme l'arsenic. En effet, elles prévoient au plus 9 cas de cancers supplémentaires dans la population des villages du prospect aurifère d'Ity. Cependant, ces résultats ne traduisent pas des risques certains de cancers de la peau.

## REFERENCES

- [1] J. Margat. *Exploitations et utilisations des eaux souterraines dans le monde*. Programme Hydrologique International (PHI), 2008.
- [2] P. JAIN, J.D. SHARMA, D. SOHU, and P. SHARMA, "Chemical analysis of drinking water of villages of Sanganer Tehsil, Jaipur District," *Int. J. Environ. Sci. Tech.*, vol. 2, no. 4, pp. 373-379, 2005.
- [3] S. K. TRAORE, K. MAMADOU, A. DEMBELE, P. LAFRANCE, P. MAZELIER, and P. HOUENOU, "Contamination de l'eau souterraine par les pesticides en régions agricoles en Côte d'Ivoire (centre, Sud et Sud-Ouest)," *Journal Africain des Sciences de l'Environnement*, vol. 1, no. 9, pp. 1-9, 2006
- [4] V. Ayraud. *Détermination du temps de résidence des eaux souterraines : application au transfert d'azote dans les aquifères fracturés hétérogènes*, Thèse de Doctorat, Université de Rennes 1, Rennes, France, 2005.
- [5] N. Miramond, D. Miau, and F. Brochard. *Diagnostic du phénomène Drainage Minier Acide sur des mines d'or primaire en Guyane françaises : Evaluation des risques associés*. Rapport, GEM Impact-DIREN, Guyane française, 2006.
- [6] Y.H.A. YAPI, B.K. DONGUI, A. TROKOUREY, Y.S.S BARIMA, Y ESSIS, and P. ATHEBA, "Evaluation de la pollution métallique d'un environnement minier aurifère à Hiré (Côte d'Ivoire)," *International journal of biological and chemical sciences*, vol.8, no.3, pp. 1281-1289, 2014.
- [7] K.T. Yao, *Hydrodynamisme de l'eau souterraine dans les aquifères de socle cristallin et cristallophyllien du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire : cas du département de Soubré. Apports de la télédétection, de la géomorphologie et de l'hydrogéochimie*, Thèse de Doctorat, Conservatoire National des Arts et Métiers, Paris, France 2009.
- [8] N. Soro, *Hydrochimie et géochimie isotopique des eaux souterraines du carré de Grand-Lahou et ses environs (Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire). Implication hydrologique et hydrogéologique*. Thèse de Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2002.
- [9] D. GONE, I. SAVANE, Y.A N'GO, J. BIEMI, "Mobilité relative des cations lors de l'altération des roches et acquisition de la minéralisation des eaux souterraines dans le degré carré de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)," *Sciences de la Nature*, vol. 2, no. 1, pp. 85-94, 2005.
- [10] M-S OGA, LASM, K.T. YAO, N. SORO, M.B SALEY, D. KOUASSI, and F GNAMBA. *Caractérisation chimique des eaux des aquifères de fracture : cas de la région de Tiassalé en Côte d'Ivoire*. European Journal of Scientific Research, vol. 31, no. 1, pp. 72-87, 2009
- [11] M.A. KOUASSI, E.K. AHOUSI, B.Y. KOFFI, Y.A. AKE, J. BIEMI, "Caractérisation hydrogéochimique des eaux des aquifères fissurés de la zone Guiglo-Duekoué (Ouest de la Côte d'Ivoire)," *International journal of biological and chemical sciences* vol.6, no.1, 2012.
- [12] D. Z. Ettien, *Étude d'évaluation de l'impact des exploitations minières sur l'environnement et les populations en Afrique occidentale : Cas de la mine d'or d'Ity dans la région semi-montagneuse de l'Ouest de la Côte d'Ivoire. Apport du Système d'Informations Géographiques (S.I.G) et de la télédétection*, Thèse Doctorat, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 2005.
- [13] BRGM: Bureau de Recherches Géologique et Minière. La gestion de l'eau des mines. 2005
- [14] Rodier, J., B Legube, B., N Merle, N., *L'analyse de l'eau*, Dunod 9<sup>ème</sup> édition, Dunod, pp. 215-332, 2009.
- [15] ADEME/SYPREA/FP2E/INERIS, *Méthodologie d'évaluation quantitative des risques sanitaires relatifs aux substances chimiques*, Convention, 2007.
- [16] ASTEE, *Association Scientifique et Technique de l'Eau et de l'Environnement*. Guide méthodologique pour l'évaluation du risque sanitaire de l'étude d'impact des installations de compostage soumises à autorisation, 2006.
- [17] IRIS, *Mercuric chloride (HgCl<sub>2</sub>) (CASRN 7487-94-7)*. In USEPA. *Integrated Risk Information System*, 1995.
- [18] AFSSA, Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments. Evaluation des risques sanitaires liés au dépassement de la limite de la qualité de l'arsenic dans les eaux destinées à la consommation humaine. 2004
- [19] D Zmirou, D Bard, W Dab. *Quels risques pour notre santé ?* Syros, 2000, 335.
- [20] OMS. *Tetrachloroethylene in: Guidelines for Drinking-water Quality*, third edition, volume 1, 2004.
- [21] CIA world factbook-version du mars 11, 2017
- [22] J Rodier, C Bazin, J.P Broutin, P Chambon, H Chapsaup, L Rodi. *L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer*. Ed. Dunod, Paris, 1086
- [23] OMS, *Déclaration d'Helsinki sur l'environnement et la santé en Europe*. 1994.
- [24] OMS, *Les lignes directrices sur la qualité en eau potable : Référence en ce qui concerne la sécurité en matière de l'eau potable* 2006.
- [25] Biémi J. *Contribution à l'étude géologique hydrogéologique et par télédétection des bassins versants subsahariens du socle précambrien d'Afrique de l'ouest : hydrostructurale, hydrodynamique, hydrochimie et isotopique des aquifères discontinus de sillons et aires granitiques de la haute Marahoué (Côte d'Ivoire)*. Thèse de Doctorat, Université d'Abidjan, Abidjan, Côte d'Ivoire, 1992

- [26] A.S. Tapsoba, *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Dabou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire)*. Doctorat 3e cycle, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 1995.
- [27] H. Nkotagu, Origins of high nitrate in groundwater in Tanzania, *Journal of African Earth Sciences*, vol.21, no.4, pp. 471-478, 1996
- [28] E.A JAOUAD, K. SANAE, E.A NAMIRA, H ABDERRAUF, "Impact des activités anthropiques sur la qualité des eaux souterraines de la communauté Mzamza (Chaouia, Maroc)," *Revue des Sciences de l'Eau*, vol. 20, no. 3, pp. 309-321, 2007.
- [29] T.K YAO, O. FOUICHE, M-S OGA, D. BAKO, C. PERNELLE, J BIEMI, "Évaluation de la potabilité chimique des Seaux souterraines dans un bassin versant tropical : cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire," *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 6, no. 6, pp. 7069-7086, 2012.
- [30] K.E AHOUSSE, Y.B KOFFI, A.M KOUASSI, G SORO, J. BIEMI, "Étude hydrochimique et microbiologique des eaux de source de l'ouest montagneux de la Côte d'Ivoire : Cas du village de Mangouin-Yrongouin (sous-préfecture de Biankouman)," *Journal of Applied Biosciences*, vol. 63,4703-4719, 2013.
- [31] Testud, F., *Engrais minéraux*. EMC Toxicologie, pp. 672, 2004.
- [32] Vilaginès, R., *Eau, Environnement et santé publique*. Introduction à l'hydrologie. Editions Tec & Doc, 2<sup>ème</sup> édition, pp. 109, 2003.
- [33] RCAP. Royal Commission on Aboriginal Peoples, *Gathering Strength*. Ottawa, Canada Communication Group. 1996, 3,185
- [34] ATSDR. Toxicological Profile for Lead. In ATSDR. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007.
- [35] M.P KERSJES, J.R MAURER, J.H TRESTRAIL, "An analysis of arsenic exposures referred to the Blodgett Regional Poison SCenter. *Vet Human Toxicol*, vol. 29, no. 1, pp. 75-78, 1987.
- [36] Marsha, D., and Ford, *Arsenic. Toxicologic emergencies*. Norwalk. L. R. Golfrank, N. E. Flomenbaum, N. A. Lewin, R. S. Weisman and M. A. Howland, vol Appleton-Century-Crofts, pp. 1261-1273, 1998.
- [37] Nadeau F. *Évaluation des risques toxicologiques et écotoxicologiques d'un terrain par des métaux*, Maître en environnement, Centre Universitaire de formation en environnement, Québec, Canada, pp. 21-37. 2012.
- [38] S. Gilbert, *A Small Dose of Toxicology*. In *Toxipedia*. 2010.