



Institut National Polytechnique  
Félix HOUPHOUËT-BOIGNY de Yamoussoukro

Ecole Doctorale Polytechnique

## THESE UNIQUE DE DOCTORAT

Pour l'obtention du grade de

**DOCTEUR DE L'INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE**

**FELIX HOUPHOUËT- BOIGNY**

*Mention :*

**Génies des procédés environnementaux**

*Spécialité :*

**Sécurité et Environnement**

Thème :

---

Facteurs associés à la qualité et évaluation des risques sanitaires  
liés à l'eau de consommation de sept localités de la Côte d'Ivoire

---

Présenté et soutenu publiquement le 01/07/2021.....

Par **Kouadio Enika Floresse**

*Numéro d'ordre*

**086/2021**

JURY

M. YAO Kouassi Benjamin	Professeur Titulaire, INP-HB	Président
M. AW Sadat	Maître de Conférences, SODECI	Rapporteur
M. GUEHI Tagro Simplicie	Professeur Titulaire, UNA	Rapporteur
M. KOFFI Kouadio Ernest	Professeur Titulaire, UFHB	Examineur
M. ASSIDJO Nogbou Emmanuel	Professeur Titulaire, INP-HB	Directeur de Thèse

## DEDICACE

Je dédie ce travail :

À l'Eternel Dieu des armées, mon Seigneur, mon appui, mon soutien et mon parrain

Merci Seigneur de m'avoir accordé la santé, l'intelligence et la sagesse pour la réalisation de ce travail.

À ma mère, Feu **Yvonne Adjoua KOUASSI**

Il est difficile pour moi de dire Feu maman car tu m'as laissée au cours de cette thèse et ce n'est pas facile, mais je suis obligée d'accepter car c'est le Seigneur qui en a décidé ainsi.

À mon père, **Kouadio KOFFI** ton soutien a été sans relâche pendant toute mon enfance et jusqu'à ce jour. Tu m'as toujours entouré de ton affection. Puisse l'Eternel Dieu te bénir et te garder encore longtemps parmi nous ;

À **Germain KOUAKOU** et madame, mes parents adoptifs. Vous avez fait de mon éducation votre priorité. Vous m'avez soutenu à tous les niveaux de ma vie, votre présence est pour moi une bénédiction. Je vous suis très reconnaissante et que le Seigneur puisse vous garder encore longtemps ;

À mon grand frère **Laurent Kouakou KOUAKOU** qui m'a toujours montré son abnégation à me voir réussir. Trouve ici l'expression de l'affection que j'ai pour toi. Que Dieu t'accorde une longue vie;

À toute ma famille **KOUADIO, BEHIBLO** et **NAMBIA** pour votre soutien, sacrifice, compréhension et prière. Que ce travail soit l'expression de vos efforts.

## REMERCIEMENTS

Le présent travail a été réalisé au Laboratoire des Procédés Industriels, de Synthèse, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN) de l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP-HB). Sa réalisation a été possible grâce à la contribution de nombreuses personnes. Au moment de sa présentation il m'est agréable de leur exprimer ma profonde gratitude.

J'adresse mes sincères remerciements au Professeur **Benjamin Kouassi YAO**, Directeur de l'Ecole Doctorale Polytechnique (EDP) pour m'avoir permis d'intégrer cette école et de vivre une très belle expérience dans le cadre de ma formation. Recevez cher professeur l'expression de ma sincère gratitude.

J'exprime ma reconnaissance et mon plus grand respect au Professeur **Emmanuel Noglobou ASSIDJO**, Professeur Titulaire, responsable du Groupe de recherche Nutrition et de Technologie Alimentaire (GNTA) de l'Institut National Polytechnique Houphouët-Boigny (INP-HB), mon Directeur de thèse. Professeur, merci de m'avoir fait bénéficier de vos larges compétences et notamment de vos précieux et judicieux conseils scientifiques. Merci particulièrement pour votre dynamisme, votre enthousiasme et la dynamique équipe que vous avez su instaurer autour de ce travail. Recevez l'expression de ma profonde considération. Que DIEU vous comble de toutes ses grâces.

Je remercie également Messieurs **Ernest Kouadio KOFFI**, Professeur Titulaire, **Simplice Tagro GUEHI**, Professeur Titulaire, **Sadat AW**, Maître de conférences, pour leur disponibilité et leur apport en vue d'améliorer ce travail.

J'adresse mes sincères remerciements au Professeur **Lanciné Droh GONE**, Directeur de l'Unité de Formation et de Recherches en Sciences et Gestion de l'Environnement de l'Université Nangui Abrogoua, de m'avoir initié à la recherche depuis le Master. Recevez cher professeur l'expression de ma sincère gratitude.

Je tiens à remercier Docteur **Doudjo SORO**, Enseignant-chercheur à l'INP-HB et Directeur des études de l'EDP, que j'appelle affectueusement mon père, grâce à qui j'ai pu m'inscrire à l'école doctorale de l'INP- HB. Je ne serais pas arrivée jusque-là sans votre aide. Merci pour tout ce que vous m'avez apporté. Que DIEU vous bénisse.

Je tiens également à remercier Docteur **Essan Bla Zita N'GORAN-AW**, Enseignant-

chercheur à l'INP-HB, que j'appelle affectueusement ma mère. Merci pour tout ce que vous m'avez apporté aussi bien au niveau scientifique qu'humain. Que Dieu vous le rende au centuple.

Je tiens à remercier Docteur **Nhouo OUATTARA**, Enseignant chercheur à l'Université Nangui Abrogoua et Docteur **Raymon LIGBAN**, Enseignant chercheur à l'Université Jean Lorougnon Guédé pour votre aide scientifique, vos encouragements et vos précieux conseils pour l'avancement de ce travail.

Je tiens à remercier du fond du cœur Docteur **Clément Djedjro AKMEL**, Docteur **Arsène NOGBOU**, Docteur **Katinan COULIBALY**, Docteur **Ernest KAKOU**, Docteur **Bagui KOSSAN**, Docteur **Koffi DIALLO** et Docteur **Amlaye Koffi KOUAKOU**, pour leur implication effective dans la réalisation de ce travail.

Mes remerciements se tournent également vers les Directeurs Régionaux de la SODECI, **Prevost Kouassi KONGO** et **Zan TROH**, ainsi qu'à **Kané LOUA** (chimiste dans ladite société), pour leur aide, soutien et disponibilité depuis le Master jusqu'à ce jour.

Je tiens à remercier du fond du cœur ma famille chrétienne, **pasteur pierre KOUASSI**, **pasteur DAGO Clément**, **pasteur BELLO David**, **mon père spirituel**, **Docteur ABOUA Kouassi Narcisse**, **Joël GNAGO**, **Pacome WAYOU**, **les moniteurs de l'école de dimanche** et à toute l'Eglise de **Djahakro** et **Abobo SOS** pour leur prière et soutien spirituel et matériel.

Je n'oublie pas mes amis de l'INP-HB et les amis de ma promotion de Géosciences et Environnement de l'Université Nangui Abrogoua, Vos conseils et votre volonté de réussir m'ont poussé à atteindre mes objectifs. Merci infiniment pour tout.

## TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS .....	ii
TABLE DES MATIERES .....	iv
LISTE DES FIGURES .....	x
LISTE DES TABLEAUX.....	xii
SIGLES ET ABREVIATIONS.....	xiii
RESUME.....	xiv
ABSTRACT .....	xiii
INTRODUCTION.....	1
<b>PARTIE I :.....</b>	<b>4</b>
<b>SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....</b>	<b>4</b>
CHAPITRE I : GENERALITES SUR L'EAU .....	5
Introduction .....	5
I.1. Définition de l'eau .....	5
I.2. Sources d'approvisionnement en eau.....	5
I.2.1. Eau de surface .....	5
I.2.2. Eau souterraine .....	6
I.3. Eaux de consommation en Côte d'Ivoire.....	6
I.3. 1. Eau du réseau public .....	6
I.3.2. Eau de forage.....	7
I.3.3. Eau de puits .....	7
I.3.4. Eau de pluie .....	7
I.3.5. Eau conditionnée.....	7
I.4. Eau potable.....	8
I.5. Qualité de l'eau.....	8
I.5.1. Qualité chimique de l'eau .....	9
I.5.2. Qualité microbiologique de l'eau .....	9
I.6. Pollution des eaux de consommation.....	9
I.6.1. Impacts de la pollution sur les ressources en eau.....	11
I.6.2. Impacts de la pollution sur les espèces aquatiques .....	12

1.6.3. Impacts de pollution de l'eau sur la santé humaine .....	12
1.7. Normes et recommandations de potabilité des eaux de consommation .....	15
Conclusion partielle.....	17
<b>CHAPITRE II : SUBSTANCES CHIMIQUES TOXIQUES ET BACTERIES PATHOGENES.....</b>	<b>18</b>
Introduction .....	18
<b>II.1. Substances chimiques toxiques .....</b>	<b>18</b>
<b>II.1. 1. Métaux lourds.....</b>	<b>18</b>
II.1. 1. 1. Arsenic .....	20
II.1. 1. 1.1. Source d'exposition naturelle.....	20
II.1. 1. 1.2. Source d'exposition anthropique .....	21
II.1. 1. 1.3. Effet sur la santé .....	22
II.1. 1. 1.4. Valeurs toxicologiques de référence .....	22
II.1. 1. 2. Cadmium.....	22
II.1. 1. 2.1. Source d'exposition naturelle.....	23
II.1. 1. 2.2. Source d'exposition anthropique .....	23
II.1. 1. 2.3. Effet sur la santé .....	24
II.1. 1. 2.4. Valeurs toxicologiques de référence .....	24
II.1.1. 3. Plomb.....	25
II.1.1. 3.1. Source d'exposition naturelle.....	25
II.1.1. 3.2. Source d'exposition anthropique .....	26
II.1.1. 3.3. Effet sur la santé.....	26
II.1.1. 3.4. Valeurs toxicologiques de référence .....	27
II.1.1. 4. Mercure .....	27
II.1.1. 4.1. Source naturelle .....	28
II.1.1. 4.2. Source anthropique .....	28
II.1.1. 4.3. Effet sur santé.....	29
II.1.1. 4.4. Valeur de référence du mercure .....	29
<b>II.2. Substances indésirables .....</b>	<b>29</b>
II.2.1. Nitrate.....	30
II.2.1.1. Source naturelle .....	30
II.2.1.2. Source anthropique .....	30
II.2.1.3. Effet sur la santé .....	30
II.2.1.4. Valeur de référence .....	31
II.2.2. Fluor.....	31
II.2.2.1. Source d'émission naturelle .....	31

II.2.2.2. Source d'émission anthropique.....	32
II.2.2.3. Effet sur la santé.....	32
II.2.2.4. Valeur de référence.....	33
II.3. Microorganismes pathogènes d'origine hydrique .....	33
II.3.1. <i>Escherichia coli</i> (E. coli) O157-H7 .....	34
II.3.1.1. Source et voies d'exposition.....	34
II.3.1.2. Effet sur la santé.....	34
II.3.1.3. Dose infectieuse .....	35
II.3.2. <i>Salmonella spp.</i> .....	35
II.3.2.1. Source et voies d'exposition.....	35
II.3.2.2. Effet sur la santé.....	36
II.3.2.3. Dose infectieuse .....	36
II.3.3. Shigelle .....	37
II.3.3. 1. Source et voies d'exposition.....	37
II.3.3.2. Effets sur la santé humaine .....	38
II.3.4. <i>Vibrio</i> .....	38
II.3.4.1. Source et voies d'exposition.....	39
II.3.4.2. Effet sur la santé.....	39
II.3.4.3. Dose infectieuse .....	39
Conclusion partielle.....	40
CHAPITRE III. GENERALITES SUR L'ANALYSE DES RISQUES.....	41
Introduction .....	41
III.1. Définition .....	41
III.1.1. Danger .....	42
III.1.2. Risque .....	42
III.2. Evaluation du risque .....	42
III.2.1. Evaluation qualitative.....	43
III.2.2. Evaluation quantitative .....	43
III.2.2.1. Approche déterministe.....	43
III.2.2.1. Approche probabiliste ou stochastique .....	44
III.2.3. Application de l'évaluation du risque.....	44
III.2.4. Etape d'évaluation do risque.....	47
III.2.4.1. Identification du danger .....	47
III.2.4.2. Caractérisation du danger .....	47
III.2.4.3. Evaluation de l'exposition .....	48

III.2.4.4. Caractérisation du risque .....	48
III.3. Gestion du risque.....	50
III.4. Communication sur le risque.....	50
III.5."Bootstrap" .....	50
III.6. Monte Carlo.....	51
Conclusion partielle.....	52
<b>PARTIE II : .....</b>	<b>53</b>
<b>APPROCHE METHODOLOGIQUE .....</b>	<b>53</b>
<b>CHAPITRE I : METHODE D'ENQUETE ET D'ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>54</b>
Introduction .....	54
I.1. Méthode d'enquête et d'échantillonnage .....	54
I.1.1. Choix des zones d'étude.....	54
I.1.2. Enquête .....	55
I.1.3. Taille de la population à enquêter .....	56
I.1.4. Echantillonnage de l'eau .....	57
I.1.4.1. Traitement du matériel d'échantillonnage .....	57
I.1.4.2. Méthode d'échantillonnage .....	57
Conclusion partielle.....	59
<b>CHAPITRE II : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES .....</b>	<b>60</b>
II.1. Analyses physico-chimiques .....	60
II.2. Analyses microbiologiques.....	62
II.3. Calculs du dénombrement des germes.....	62
Conclusion partielle.....	63
<b>CHAPITRE III : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES .....</b>	<b>64</b>
Introduction .....	64
III.3.1. Identification et caractérisation des danger .....	64
III.2. Estimation de l' exposition chimique.....	65
III.2. Evaluation de l'exposition microbiologique .....	67
III.3. Détermination de la durée de stockage de l'eau dans les ménages .....	69
III.4. Analyse statistique des données .....	70
Conclusion partielle.....	70
<b>PARTIE III : RESULTATS ET DISCUSSION .....</b>	<b>71</b>
<b>CHAPITRE I : ENQUETE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE .....</b>	<b>72</b>
Introduction .....	72

I.1. Enquête sociodémographique .....	72
I.2. Consommation de l'eau conditionnée.....	73
I.3. Facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau .....	75
I.3.1. Condition de collecte et de transport de l'eau de consommation dans les ménages .....	75
I.3.2. Rupture d'eau dans les ménages. ....	77
I.3.3. Stockage d'eau dans des ménages.....	79
I.3.4. Durée de stockage de l'eau dans les ménages.....	80
I.4. Différents types de matériel de stockage dans les ménages.....	81
I.5. Différents types de traitements des eaux de puits par les ménages .....	82
I.6. Maladies rencontrées dans les ménages investigués .....	83
Conclusion Partielle .....	85
CHAPITRE II : QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE .....	86
Introduction .....	86
II.1. Paramètres physico- chimiques .....	86
II.1.1. pH .....	86
II.1.2. Turbidité .....	87
II.1.3. Température.....	89
II.1.4. Conductivité des différents types d'eau.....	90
II.1.5. Chlore résiduel.....	91
II.1.6. Fer.....	92
II.1.7. Nitrate.....	93
II.1.8. Ion fluorure.....	95
II.1.9. Arsenic et plomb.....	96
II.2. Paramètres microbiologiques .....	97
II.2.1. Germes aérobies mésophiles .....	97
II.2.2. Coliformes totaux .....	100
II.2.3. <i>Escherichia coli</i> .....	102
II.2.4. <i>Salmonella</i> .....	105
Conclusion partielle.....	107
CHAPITRE III : EVALUATION DU RISQUE .....	109
Introduction .....	109
III.1. Distribution de la consommation journalière d'eau par la population .....	109
III.2. Evaluation du risque chimique lié aux substances chimiques.....	110
III.2.1. Evaluation du risque lié à l'ingestion du nitrate contenu dans les eaux de puits .....	110
III.2.2. Evaluation du risque lié à l'ingestion du plomb suite à la consommation de l'eau de puits.....	112

III.2.3. Evaluation du risque lié à la consommation de l'arsenic .....	115
Conclusion partielle.....	117
<b>CHAPITRE IV : PROPOSITION POUR LA GESTION DES RISQUES LIES A LA CONSOMMATION DE L'EAU .....</b>	<b>118</b>
Introduction .....	118
IV. Determination de la durée de stockage .....	118
IV.1. Suivi du chlore résiduel des eaux stockées dans les ménages .....	118
IV.2. Paramètres chimiques des eaux stockées A,B,C,D et E.....	120
IV.3.Paramètres microbiologiques .....	122
IV.3.1.Germes aérobies mésophiles.....	122
IV.3.2. Coliformes totaux dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E.....	123
IV.2.3. <i>Escherichia coli</i> dans les eaux stockées dans les ménages .....	124
Conclusion partielle .....	126
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>127</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>127</b>
<b>ANNEXES.....</b>	<b>127</b>
<b>PUBLICATIONS SCIENTIFIQUES .....</b>	<b>127</b>

## **LISTE DES FIGURES**

**pages**

<b>Figure 1:</b> Schéma général de l'évaluation du risque sanitaire : le modèle de la National Academy of Sciences (1983).....	49
<b>Figure 2:</b> Produit de deux distributions avec les simulations de type Monte Carlo.....	52
<b>Figure 3 :</b> Zones d'étude de 7 localités de la Côte d'Ivoire .....	55
<b>Figure 4:</b> Schéma général simplifié de la modélisation de la survenue de la maladie.....	66
<b>Figure 5:</b> Schéma général simplifié de la modélisation de la survenue du risque .....	68
<b>Figure 6:</b> Source d'approvisionnement en eau dans les ménages .....	72
<b>Figure 7:</b> Consommation de l'eau en sachet en fonction des activités .....	74
<b>Figure 8:</b> Matériel de prélèvement d'eau (a), prélèvement d'eau (b) et condition de collecte et de transport d'eau (c et d).....	76
<b>Figure 9:</b> Rupture d'eau dans les ménages.....	78
<b>Figure 10:</b> Frequence de rupture d'eau du réseau public dans la semaine.....	78
<b>Figure 11:</b> Pourcentages de stockage d'eau dans les ménages en fonction des villes .....	79
<b>Figure 12:</b> Durée de stockage de l'eau dans les ménages .....	81
<b>Figure 13:</b> Types de traitements des eaux de puits par les ménages.....	83
<b>Figure 14:</b> Maladies hydriques exprimées au sein de la population .....	84
<b>Figure 15:</b> Valeurs moyennes de pH des échantillons d'eau de consommation des villes d'études .....	87
<b>Figure 16:</b> Valeurs moyennes de turbidité des eaux de consommation des villes étudiées ....	88
<b>Figure 17:</b> Valeurs de température des différents types d'eau de consommation des villes...	89
<b>Figure 18:</b> Valeurs moyennes des conductivités des différents types d'eau des villes étudiées .....	90
<b>Figure 19:</b> Valeurs moyennes du chlore résiduel des échantillons d'eau des villes d'étude ..	91
<b>Figure 20:</b> Valeurs moyennes du fer des échantillons d'eau des villes d'étude.....	93
<b>Figure 21:</b> Valeurs moyennes du nitrate des eaux de consommation des villes d'étude .....	94
<b>Figure 22:</b> Valeurs moyennes du fluor des eaux de consommation des villes d'étude.....	95
<b>Figure 23 :</b> Valeurs moyennes d'arsenic des différents types d'eau des villes d'étude .....	96
<b>Figure 24:</b> Valeurs moyennes du plomb des différents types d'eau des villes d'étude .....	97
<b>Figure 25 :</b> Distribution de la consommation journalière d'eau par la population .....	110
<b>Figure 26:</b> Risque lié à l'ingestion du nitrate due à l'eau de puits d'Abidjan selon .....	111

<b>Figure 27:</b> Risque lié à la consommation du plomb due à l'eau de puits selon la simulation de type Monte Carlo.....	114
<b>Figure 28:</b> Risque lié à la consommation de l'arsenic du à l'eau de puits .....	116
<b>Figure 29:</b> Teneurs en chlore résiduel en fonction de la durée de stockage d'eau.....	119
<b>Figure 30:</b> Quelques paramètres physico-chimiques des eaux stockées dans les ménages ..	121
<b>Figure 31:</b> Charges des germes aérobies mésophiles dans les eaux stockées .....	123
<b>Figure 32:</b> Coliformes totaux dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E.....	124
<b>Figure 33:</b> Escherichia coli dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E.....	125

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau I:</b> Rapport entre les activités anthropiques et les polluants générés dans les ressources en eau .....	11
<b>Tableau II:</b> Différentes maladies hydriques et leurs pathologies (OMS ; 2017) .....	14
<b>Tableau III:</b> Références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine pour certains paramètres physico-chimiques (UE, 1998 ; USEPA, 2007 ; OMS, 2017).....	16
<b>Tableau IV:</b> Références de qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine .....	17
<b>Tableau V:</b> Répartition de la population à enquêter par ville .....	57
<b>Tableau VI:</b> Taille d'échantillon d'eau prélevée dans les villes investiguées .....	59
<b>Tableau VII:</b> Synthèse des méthodes et normes d'analyse des paramètres physico-chimiques .....	61
<b>Tableau VIII:</b> Synthèse des méthodes et normes d'analyse des paramètres microbiologiques .....	62
<b>Tableau IX:</b> Identification et caractérisation des dangers.....	65
<b>Tableau X:</b> Matériel de stockage les ménages .....	82
<b>Tableau XI:</b> Valeurs moyennes des germes aérobies mésophiles (GAM) des eaux .....	99
<b>Tableau XII:</b> Valeurs moyennes des coliformes totaux des eaux de consommation .....	101
<b>Tableau XIII:</b> Valeurs moyennes d'Escherichia coli des eaux de consommation .....	103
<b>Tableau XIV:</b> Valeurs moyennes de la salmonella spp .....	106

## SIGLES ET ABREVIATIONS

**AFNOR** : Agence Française de Normalisation

**AFSCA** : Agence de Fédération pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire

**ATSDR** : Agency for Toxic Substances and Disease Registry

**CDC** : Centers for Disease and Control

**DJ T** : Dose journalière tolérée

**DJA** : Dose journalière admissible

**EDTA** : Ethylène Diamine Tétra Acétique

**EP** : Eau de puits

**ER** : Eau du robinet

**ES** : Eau stockée

**ESA** : Eau conditionnée en sachet de façon artisanal

**ESI** : Eau conditionnée en sachet

**FAO** : Food and Agriculture Organisation of United National Agriculture

**FEM**: Fonds pour l'Environnement Mondial

**INERIS** : Institut national de l'environnement industriel et des risques

**INS** : Institut National de la Statistique

**IPEN** : International Pollutants Elimination Network

**ISO** : International Organization for Standardization (Organisation Internationale de Normalisation)

**NF** : Norme Française

**OIE** : Organisation mondiale de la santé animale

**OMS** : Organisation Mondiale de la Santé

**RGPH** : Recensement Général de la Population et de l'Habitat

**SODECI** : Société de Distribution d'Eau de la Côte d'Ivoire

**UFC** : Unité Format Colonie

**UNICEF**: United National international Children's Emergency Fund (Foods des Nations Unies pour l'Enfance)

**UNT** : Unité Néphélométrique de Turbidité

**US EPA** : United States Environmental Protection Agency

**USGS** : United States Geological Survey

**VTR** : Valeur Toxicologique de Référen

## RESUME

L'accès à l'eau potable est primordial dans l'amélioration des conditions de vie des populations. De ce fait, le manque d'eau favorise la consommation des eaux de diverses sources qui pourrait exposer la population à des risques sanitaires. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer les risques sanitaires liés aux différents types d'eau de consommation. Pour atteindre cet objectif, la quantité et la fréquence de consommation ainsi que les facteurs de dégradation de la qualité des différents types d'eau ont été déterminés à partir d'une enquête socio-démographique. Ensuite, des analyses physico-chimiques et microbiologiques des échantillons de ces eaux ont été réalisées afin de déterminer la qualité de celles-ci. Enfin, l'évaluation des risques sanitaires liés au nitrate, au plomb, à l'arsenic et *Escherichia coli* (O157-H7) a été estimée selon la méthode probabiliste du **Codex Alimentarius (2007)**. Les résultats de l'enquête ont montré qu'en moyenne, les quantités d'eau consommées quotidiennement par personne sont comprises entre 1 et 3 litres. Les proportions de populations stockant de l'eau dans les ménages varient entre 51,56% et 88,45%. Par ailleurs, les analyses chimiques ont révélé que les eaux du réseau public sont plus chlorées que les eaux stockées et les eaux conditionnées en sachet de consommation. Le plomb et l'arsenic ont été uniquement détectés dans les eaux de puits. Les concentrations moyennes du nitrate des eaux de puits des villes de Daloa (55,8 mg/L), San Pedro (54,5 mg/L) et Abidjan (58,9mg/L) sont supérieures à la valeur seuil de l'OMS (50 mg/L). Concernant la qualité microbiologique, les coliformes totaux et *Escherichia Coli* sont dénombrés dans les différents types d'eau de consommation. La *salmonella spp* est seulement dénombrée dans les eaux de puits de Korhogo et de San-Pedro. L'évaluation du risque a révélé que la probabilité de consommer le nitrate à des doses supérieures à la DJA est de 5,65% à Daloa, 1,25 % à San Pedro et 10,2% à Abidjan. En estimant que sur 100 000 habitants dans chacune des villes de San Pedro, de Daloa et d'Abidjan entre 1650 et 6020 s'exposeraient aux risques liés à l'ingestion du plomb suite à la consommation des eaux de puits. Les calculs effectués ont montré que 1,75% de la population de San-Pedro et 4,42% de la population d'Abidjan ingère de l'arsenic suite à la consommation de l'eau de puits à des doses supérieures à la DJT ( $3,10^{-4}$  mg/kg/j). L'évaluation du risque microbiologique a mentionné des doses d'*Escherichia Coli* inférieures à la dose infectieuse à  $10^8$  UFC.

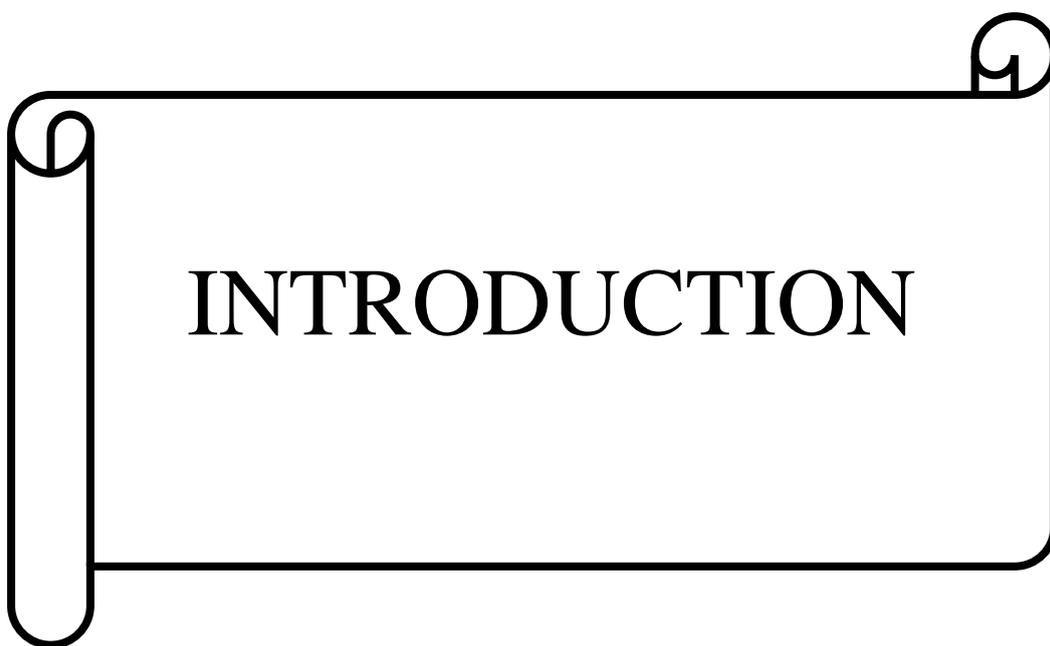
Le suivi du chlore montre que la diminution de la teneur en chlore résiduel est corrélée avec la prolifération des bactéries dans les eaux stockées. La durée adéquate de stockage de l'eau pourrait donc se situer entre jour 0 et jour 2.

**Mots clés :** Evaluation, risque, eau consommation, Côte d'Ivoire.

## ABSTRACT

Access to drinking water is essential in improving the living conditions of the population. As a result, the lack of water favors the consumption of water from various sources that could expose the population to health risks. The objective of this study is therefore to assess the health risks related to the different types of drinking water. To achieve this objective, the quantity and frequency of consumption as well as the factors that degrade the quality of the different types of water were determined from a socio-demographic survey. Then, physico-chemical and microbiological analyses of the samples of these waters were carried out in order to determine their quality. Finally, the assessment of the health risk related to nitrate, lead, arsenic and *Escherichia coli* (O157-H7) was estimated according to the probabilistic method of the **Codex Alimentarius (2007)**. The results of the survey showed that, on average, the quantities of water consumed daily per person are between 1 and 3 liters. The proportions of populations storing water in households vary between 51,56% and 88,45%. In addition, chemical analyses have revealed that water from the public network is more chlorinated than stored water and water packaged in drinking bags. Lead and arsenic were only detected in well water. The average nitrate concentrations in well water from the cities of Daloa (55,8 mg/L), San Pedro (54,5 mg/L) and Abidjan (58,9 mg/L) are above the WHO threshold value (50 mg/L). Regarding microbiological quality, total coliforms and *Escherichia Coli* are enumerated in the different types of drinking water. *Salmonella* spp is only counted in Korhogo and San-Pedro well water. The risk assessment revealed that the probability of consuming nitrate at doses above the ADI is 5,65 % in Daloa, 1,25 % in San Pedro and 10,2% in Abidjan. It is estimated that per 100,000 inhabitants, the risks related to the ingestion of lead following the consumption of well water in San Pedro de Daloa and Abidjan are 1650, 3370 and 6020 respectively. Monte Carlo simulations showed that 1,75% of the population of San-Pedro and 4,42 % of the population of Abidjan ingest arsenic following consumption of well water at doses above the TDI (3,10-4 mg/kg/j). The microbiological risk assessment mentioned doses of *Escherichia Coli* lower than the infectious dose at  $10^2$  U FC. Chlorine monitoring shows that the decrease in residual chlorine content correlates with the proliferation of bacteria in the stored water. The adequate storage duration of the water could therefore be between day 0 and day 2.

**Keywords:** Evaluation, risk, drinking water, Ivory Coast



# INTRODUCTION

## INTRODUCTION

L'eau est une ressource naturelle essentielle à la survie de l'homme. Elle représente un enjeu mondial important pour le développement socio-économique d'un pays (ONU, 2018). À cet effet, les Nations Unies se sont engagées à travers l'un des Objectifs du Développement Durable (ODD) adopté en 2015, à garantir l'accès de tous à l'eau puis à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau.

Malgré, les importants progrès enregistrés, plus de 30% de la population mondiale n'ont toujours pas accès à des services d'alimentation domestique en eau potable (OMS et UNICEF, 2017). De tous les continents, l'accès difficile à l'eau est plus accentué dans les pays en développement où les ressources en eau sont menacées tant en volume qu'en qualité (Ahoussi et al., 2017). Ces menaces sont liées entre autres, aux conséquences de changement climatique et à la pollution due aux rejets industriels, domestiques et agricoles (Yao et al., 2012; Yapo et al., 2016). En effet, les déchets générés par ces activités et mal gérés sont des voies de contamination tant des eaux de surface que des eaux souterraines. La consommation de ces eaux est responsable des maladies d'origine hydrique telles que la gastro-entérite, le choléra, la dysenterie, l'hépatite, la fièvre typhoïde et diarrhée (Copeland et al., 2009).

La Côte d'Ivoire, à l'instar des autres pays en développement, a réalisé que l'accès à l'eau est l'une des conditions pour l'amélioration des conditions de vie. C'est pourquoi, elle s'est engagée dans la promotion de l'approvisionnement en eau potable (Koukougnon, 2015). L'une de ces actions est la création de la Société de Distribution d'Eau de Côte d'Ivoire (SODECI). De plus, l'Etat a initié avec l'appui des partenaires au développement des actions visant à faciliter l'accès à l'eau potable de toutes les couches sociales tant en milieu urbain que rural. Cependant, malgré les progrès enregistrés et les efforts consentis pour l'amélioration de ce secteur, un rapport de l'OMS et UNICEF (2017) estime que, plus de 4 millions de personnes sont toujours confrontées aux problèmes d'accès à l'eau potable. Ces désagréments sont particulièrement ressentis par les habitants des grands centres urbains. C'est le cas des villes de Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, Abengourou, San-Pedro et Abidjan. Dans ces zones, l'on note une corrélation inverse entre les structures de production d'eau potable et la croissance démographique à cause d'une urbanisation anarchique (Awomon et al., 2019). Ce qui a eu pour conséquence majeure une augmentation disproportionnée des besoins en eau potable des populations entraînant des baisses de pression et des manques d'eau potable. Aussi, soulignons que la problématique d'accès à l'eau potable est-elle due à la vétusté des infrastructures, le retard des investissements provoqué par les différentes crises

politico-financières et le tarissement de certains barrages utilisés pour la production d'eau potable (**Maillard et al., 2019**).

Afin de pallier les problèmes d'approvisionnement en eau potable, les populations ont développé des stratégies d'accès à l'eau en utilisant des moyens non conventionnels et précaires. En effet, elles ont recours aux eaux de puits et/ou à l'achat d'eau chez des revendeurs à partir du réseau de distribution publique (**Kouakou-Sacoul et al., 2012 ; Awomon et al., 2019**). Ces types d'approvisionnement en eau imposent obligatoirement une phase de collecte, de transport et de stockage. Ces différentes étapes pourraient impacter négativement la qualité de l'eau et présenter des risques sanitaires.

Aujourd'hui, des études relatives à la qualité de ces différents types d'eau ont été menées par plusieurs chercheurs. Pour ce qui concerne les eaux de puits, des travaux effectués par **Ouattara et al. (2016)**, par **Kouadio et al. (2017)** et par **Ahoussi et al., (2017)** ont montré que les eaux des puits respectivement de Korhogo, d'Abidjan et d'Agboville sont riches en composé azoté, en métaux lourds et en microorganismes. Aussi, **Awomon et al. (2019)**, et **Kouadio et al. (2017)** ont conclu que la consommation quotidienne des eaux de puits a causé des taux élevés des maladies hydriques telles que la diarrhée et la fièvre typhoïdes dans ces localités. De même, **Kouakou-Sacoul et al. (2012)** et **Haoussounou et al. (2018)** ont indiqué qu'en Côte d'Ivoire et au Togo, le stockage prolongé dans des conditions incontrôlées dans les ménages favoriserait la prolifération des microorganismes dans ces eaux. En Outre, **Blé et al. (2015)** ont révélé que la manipulation des eaux ensachées lors du conditionnement sans aucune mesure d'hygiène pourrait entraîner la dégradation de la qualité du produit.

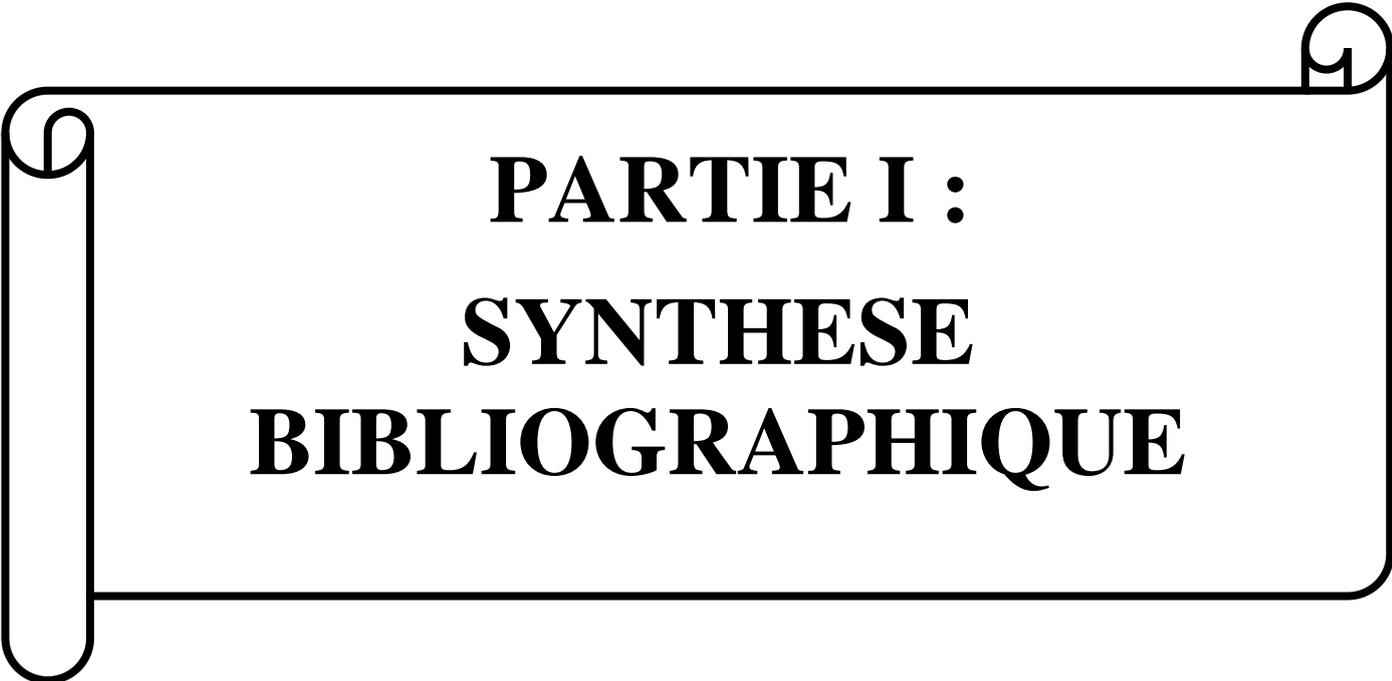
En Côte d'Ivoire, la plupart des études relatives à la qualité des différents types d'eau de consommation, se sont limitées à la quantification des paramètres chimiques et microbiologiques dans le but d'apprécier la qualité de ces eaux (**Gnagne et al., 2013 ; Ahoussi et al., 2017 ; Kanohin-Otchoumou et al., 2017**). Cependant, il existe très peu d'études relatives à l'estimation de l'exposition des populations consommant les eaux de puits, les eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées à des maladies d'origine hydrique. Il est donc impérieux de savoir quelle est l'exposition réelle de la population consommatrice de ces eaux. Autrement dit, quels sont les risques sanitaires liés à la consommation de ces différents types d'eau encourus par les populations ?

Quel type d'eau, exposerait-il plus le consommateur à des risques sanitaires ?

L'objectif général de cette étude est d'évaluer les risques sanitaires liés aux différents types d'eau de consommation . Plus spécifiquement, l'idée (i) est de réaliser une enquête décrivant

les facteurs de la dégradation de la qualité des différents types d'eau consommés et la fréquence de consommation journalière par les populations ; (ii) évaluer la qualité physico-chimique et microbiologique des différents types d'eau consommés dans les villes cibles ; (iii) déterminer le niveau de risques sanitaires liés à la consommation des différents types d'eau consommés et proposer des solutions.

Ce document qui rend compte de l'ensemble des travaux effectués dans le cadre de cette thèse s'articule autour de trois (3) grandes parties. La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique relative aux généralités, risques et dangers de l'eau de consommation. L'ensemble de la démarche expérimentale est présentée dans la seconde partie. Enfin la troisième présente les résultats obtenus, illustrés sous forme de tableaux et d'histogrammes, accompagnés de leur discussion. L'étude s'achève par une conclusion générale, suivie des perspectives envisagées à l'issue de ce travail.



**PARTIE I :**  
**SYNTHESE**  
**BIBLIOGRAPHIQUE**

### Introduction

L'eau est une ressource naturelle représentant un enjeu important pour le développement socio-économique d'un pays. Pour en savoir plus sur l'eau, dans ce présent chapitre, nous donnerons d'abord une brève définition des concepts clés sur l'eau. Ensuite, nous indiquerons les sources d'alimentation en eau en générale et en particulier les sources d'alimentation en eau de la Côte d'Ivoire. Et enfin, nous évoquerons les différentes sources de pollution de l'eau ainsi que les critères de sa potabilisation.

#### I.1. Définition de l'eau

L'eau est un liquide naturel transparent, incolore, inodore et sans saveur à l'état pur pour la consommation. Elle est une ressource naturelle, l'un des éléments fondamentaux et indispensables de toutes les ressources naturelles (Gapwu et al., 2018). De nombreuses recherches ont d'ailleurs démontré que l'eau est l'élément essentiel du développement énergétique et du développement économique durable (Ouattara et al., 2016; Sokegbe et al., 2017). Elle intervient dans plusieurs secteurs d'activité tels que l'agriculture, les industries, le transport et surtout dans le domaine domestique (Heriarivony et al., 2015). Cependant, la qualité de l'eau est un facteur influençant l'état de santé et la mortalité à la fois chez l'homme et les animaux (Khettaf, 2018).

#### I.2. Sources d'approvisionnement en eau

Généralement, deux (2) sources d'approvisionnement en eau sont utilisées en milieu péri - urbain et rural (Hasan et al., 2011). Il s'agit de l'eau de surface et de l'eau souterraine.

##### I.2.1. Eau de surface

Les eaux de surface ou superficielles regroupent les cours d'eau (rivières, fleuves, lacs, étangs et marigots) et les retenues artificielles (Scheren et al, 2004). La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés durant leur parcours, des activités qui sont exercées aux alentours ainsi que de la qualité de l'atmosphère immédiate. Dans la plupart des cas, les eaux de surface ont l'avantage de la quantité mais l'inconvénient majeur d'être fortement chargées en matières en suspension. D'une manière générale, ces eaux sont le

siège, du développement d'une vie microbienne à cause des déchets qui y sont rejetés (Ahoussi et al., 2012). Les eaux de surface ne sont consommées directement que dans les milieux ruraux en absence d'adduction d'eau publique ou lorsque les forages sont hors service (Hounsounou et al., 2016). Contrairement en milieu rural, en milieu urbain ces eaux subissent obligatoirement des traitements adéquats avant d'être utilisées comme des eaux de consommation.

### **I.2.2. Eau souterraine**

Les eaux souterraines regroupent les eaux des puits, des forages et des sources aménagées. Elles sont contenues dans les pores et les fissures des roches (Odoulami, 2009). Elles résultent de l'infiltration des précipitations dans les sols pour s'accumuler dans la nappe phréatique peu profonde. Les eaux souterraines sont le plus souvent considérées comme étant de bonne qualité et propre à la consommation. À cet effet, elles constituent les moyens courants de desserte en eau de consommation en cas de déficit du réseau d'eau potable dans la plupart des pays en développement (Degbey et al., 2010; Ahoudi et al., 2015 ; Soncy et al., 2015). La qualité des eaux souterraines peut être altérée par divers polluants (Ahoussi et al., 2013). Pour assurer la sécurité sanitaire des consommateurs, les structures spécialisées traitent ces eaux avant leur mise à la disposition de la population.

### **I.3. Eaux de consommation en Côte d'Ivoire**

Généralement en milieu rural et urbain, les eaux de consommation se composent des eaux du réseau public, des eaux des forages, des eaux conditionnées et souvent des eaux de puits et des eaux de pluie.

#### **I.3. 1. Eau du réseau public**

L'eau du réseau public est une eau issue d'un traitement de l'eau souterraine ou de l'eau de surface à l'état brut pour donner une eau conforme aux normes définies par la réglementation (Beaulieu et Fisset, 2009). Sa qualité est en général satisfaisante et répond à des exigences sanitaires réglementaires. En Côte d'Ivoire, l'eau du réseau public est garantie par la SODECI (Diagabaté et al., 2016). Cette structure traite l'eau dans les stations de traitement et l'achemine dans le réseau distribution. Selon un rapport de l'ONEP (2019), 80% de la population ivoirienne bénéficie de cette eau.

### **I.3.2. Eau de forage**

Un forage est un ouvrage de captage de l'eau souterraine de petit diamètre (en général 15 à 40 cm). Il est creusé par une machine et équipé d'un système mécanique ou électromécanique d'exhaure dans les aquifères profonds. Le forage est généralement exploité par le réseau de distribution d'eau pour produire de l'eau à la population ou aux particuliers. La qualité de l'eau de forage est en général satisfaisante. Aussi, elle ne nécessite pas un traitement onéreux (**Hounsounou et al., 2016**).

### **I.3.3. Eau de puits**

Un puits est un ouvrage de captage vertical permettant d'exploiter de l'eau d'une nappe contenue dans les interstices ou dans les fissures d'une roche du sous-sol (**Odoulami, 2009**). Le puits est généralement creusé à la main, à l'aide de pics par des puisatiers dans les roches. On distingue deux types de puits, à savoir le puits traditionnel et le puits moderne. Le puits traditionnel possède des parois qui en général ne sont pas revêtues ou possèdent juste un revêtement peu épais de ciment non armé (**Maoudombaye et al., 2015**). Contrairement au puits traditionnel, le puits moderne est un puits à grand diamètre. Pour recueillir de l'eau de ces puits, la population utilise des puisettes ou des pompes manuelles et de plus en plus des pompes motorisées. L'eau de puits est pour la plupart exposée à la pollution (naturelle et anthropique) et elle subit rarement un traitement et un contrôle de sa qualité avant consommation (**Sokegbe et al., 2017**).

### **I.3.4. Eau de pluie**

Les eaux de pluie sont les eaux regroupant les précipitations et n'ayant touché aucune surface ou ayant ruisselé sur des toits, puis récupérées (**Farreny et al., 2011**). Elles constituent une option parallèle à d'autres technologies d'approvisionnement en eau, surtout dans le monde rural (**Nguyen-Deroche et al., 2013 ; Abai et al., 2014**). Elles sont recueillies à travers les barriques, citernes, etc. Elles ont une minéralisation faible et souvent contaminées par les impuretés de l'air. Cependant, ce système d'approvisionnement a quelques inconvénients liés à sa qualité qui peut être affectée par la pollution (**Worm et Hattum, 2006**).

### **I.3.5. Eau conditionnée**

On distingue généralement deux types d'eau conditionnée, à savoir l'eau embouteillée et l'eau ensachée (**N'Diaye, 2008**).

L'eau embouteillée est une eau conditionnée dans des bouteilles en polyéthylène (**Ottawa, 2011**). Cette eau peut être de l'eau minérale lorsque sa composition en minéraux et en oligo-éléments est stable. Elle est appelée l'eau minéralisée lorsqu'on ajoute des minéraux à sa composition. Ces caractéristiques lui confèrent des propriétés favorables à la santé reconnues par l'Académie de Médecine. Concernant l'eau ensachée, elle est conditionnée de manière artisanale ou semi-industrielle dans des contenants polyéthylènes. Elle provient des eaux du réseau public ou des forages (**Blé et al., 2015**). Lors du conditionnement de manière artisanale, les mains du manipulateur sont directement en contact avec le récipient du prélèvement et l'eau. Contrairement à l'eau conditionnée de manière artisanale, celle conditionnée de manière semi industrielle se fait à l'aide d'une machine (**N'Diaye, 2008**). Elle est beaucoup consommée à cause de sa fraîcheur, sa disponibilité et son accessibilité à tous (**Kouadio et al., 2013**). Les facteurs naturels et environnementaux pourraient exposer les eaux de consommation à des pollutions.

#### **I.4. Eau potable.**

Une eau est considérée comme potable si sa qualité n'affecte pas la santé du consommateur à court, moyen et long terme. En effet, la qualité de l'eau est un ensemble de caractéristiques physiques, chimiques et biologiques qu'elle présente, selon son utilisation. Elle se réfère à un ensemble de normes permettant d'évaluer la conformité (**OMS, 2008**). L'eau, par son importance vitale est parmi les produits les plus surveillés et soumis aux normes de qualité (**Bras et al., 2007**). L'objectif du contrôle de la qualité de l'eau est de vérifier le respect des critères de potabilité de l'eau distribuée afin de protéger la santé des consommateurs (**Hospitalier-Rivillo et Poirier, 2008**). Selon **OMS (2017)**, les personnes les plus exposées au risque de maladie véhiculée par l'eau sont les nourrissons et les jeunes enfants, les personnes affaiblies ou vivant dans des mauvaises conditions d'hygiène et les personnes âgées. Pour définir précisément une eau potable, on fait référence aux caractéristiques chimiques, biologiques et radioactives de l'eau (**Beaulieu et Fisset, 2009**).

#### **I.5. Qualité de l'eau**

La qualité de l'eau est déterminée par ses caractéristiques physiques, chimiques, biologiques ou organoleptiques, à servir à un usage défini (**OMS, 2011**). Les normes et directives sur la qualité de l'eau (concentration des différents paramètres) sont édictées soit par l'OMS, soit par les organismes nationaux légalement responsables ou encore d'autres organismes régionaux comme l'Union Européenne qui en fixent les limites.

### **I.5.1. Qualité chimique de l'eau**

L'appréciation de la qualité chimique de l'eau est basée sur la mesure des paramètres physico-chimiques (**Gbohaida et al., 2016**). Elle dépend des types de matériaux présents dans le sol et du temps de contact de l'eau avec ces matériaux. L'évaluation de la qualité chimique de l'eau de boisson se fonde sur la comparaison entre les résultats de l'analyse qualitative de l'eau et des valeurs guides. En effet, l'évaluation de la qualité chimique permet d'effectuer un contrôle des paramètres chimiques afin de garantir la sécurité du consommateur (**Ayad, 2017 ; OMS, 2017**). Certains de ces paramètres sont toxiques, en revanche d'autres éléments sont bénéfiques pour la santé (**Khettaf, 2018**).

### **I.5.2. Qualité microbiologique de l'eau**

La qualité microbiologique de l'eau est caractérisée par un niveau de contamination par des micro-organismes (**Soncy et al., 2015**). L'évaluation de la qualité microbiologique de l'eau est basée sur des analyses microbiologiques. Les tests microbiologiques étant longs et complexes, le contrôle de la qualité microbiologique se fait sur la base d'organismes indicateurs tels que les coliformes, *Escherichia coli* et les Entérocoques fécaux ou intestinaux (**Festy et al., 2003 , Servais et al., 2009 et Ayad, 2017**). La présence d'*Escherichia coli* apporte la preuve incontestable d'une pollution fécale récente et ce micro-organisme doit être totalement absent de l'eau de boisson. Dans la pratique, la recherche de bactéries coliformes thermotolérantes est souvent une solution de remplacement acceptable. *Escherichia coli* constitue un indicateur utile, mais non universel. À cet effet, dans certaines circonstances, l'évaluation microbiologique pourra inclure aussi une évaluation des densités d'agents pathogènes spécifiques. Les virus entériques et les protozoaires sont plus résistants à la désinfection. En conséquence, l'absence d'*Escherichia coli* n'indique pas nécessairement que l'eau est exempte de ces organismes (**OMS, 2017**). Dans certaines situations, il peut être souhaitable de rechercher davantage des micro-organismes résistants, tels que des bactériophages et/ou des spores bactériennes.

### **I.6. Pollution des eaux de consommation**

La pollution de l'eau est l'introduction dans le milieu aquatique de toute substance susceptible de modifier les caractéristiques physiques, chimiques et/ou biologiques de l'eau. Ces substances créent par la suite des risques pour la santé de l'homme, nuisent à la faune et à la flore aquatique, portent atteinte à l'agrément des sites et empêchent toute autre utilisation rationnelle des eaux (**bhat et al., 2017**). L'origine de la pollution des eaux de consommation

est soit naturelle, soit liée aux activités anthropiques (domestiques, agricoles et industrielles) (**United Nations of Education Scientific and Cultural Organization, 2006**).

➤ **Pollution d'origine naturelle**

La pollution naturelle est celle qui modifie de manière substantielle les différentes propriétés de l'eau indépendamment de l'action humaine. Elle peut provenir des éruptions volcaniques, des épanchements sous-marins d'hydrocarbures ou lorsque les eaux souterraines et de surface entrent en contact avec des gisements de minéraux (**Gandhi et al., 2012**). Ainsi, par effet d'érosion ou de dissolution, on a un apport de concentrations élevées en minéraux dans l'eau. En ce qui concerne l'eau de pluie, elle peut être contaminée par des polluants atmosphériques (dioxyde de soufre, oxyde d'azote, hydrocarbure) et par les substances sur les toits (excréments d'oiseaux, feuilles, particules de poussière) (**Radaideh et al., 2009**).

➤ **Pollution d'origine anthropique**

Les eaux de consommation contiennent naturellement des substances chimiques et physiques à des concentrations plus ou moins faibles. Les concentrations élevées de ces substances mesurées dans les eaux de consommation sont dues généralement aux rejets urbains, aux activités industrielles et agricoles, aux produits agrochimiques et à l'élevage (**Vandenberghe, 2012**). Par exemple, l'infiltration des effluents de fosses septiques et des eaux usées domestiques dans les eaux souterraines entraînent une contamination des dites eaux. Celles-ci apportent des nutriments (azote, phosphore et potassium), des microorganismes et divers polluants. Les sources industrielles de pollution des nappes sont les infiltrations d'effluents de tanneries et minerais, les hydrocarbures provenant des tanks de stockages pétroliers et les solvants (**Ngaram, 2011**). Le lixiviat des décharges d'ordures ménagères est chargé de substances bactériologiques, organique et surtout chimique (y compris des métaux lourds) (**Trabelsi, 2012**). L'exploitation minière, les drains agricoles, l'élimination et l'incinération des déchets municipaux et industriels, libèrent de grandes quantités de polluants dans l'environnement et provoquent la contamination des ressources en eau (**Ahoulé et al., 2015**). Toutefois, l'intensité de la pollution de la nappe et l'extension de la zone concernée dépendent de la nature du polluant, du type de sol traversé et des caractéristiques des aquifères. Les activités anthropiques génèrent des polluants dans les ressources. Les polluants chimiques générés par les activités sont présentés dans le **Tableau (I)**.

**Tableau I:** Rapport entre les activités anthropiques et les polluants générés dans les ressources en eau

<b>Activités</b>	<b>Origine de la pollution</b>	<b>Types de polluants</b>	<b>Eléments polluants</b>	<b>Paramètres polluants associés</b>
<b>Domestiques</b>	Rejets des eaux usées et des déchets solides ménagers	Déchets solides et liquides	Ordures ménagères, eaux usées, excréta	Nitrates, phosphates, sulfates, cuivre, plomb, cadmium, Coliformes, <i>Escherichia coli</i> , <i>clostridium perfringens</i> , <i>Vibrio cholerae</i> , Salmonelles
<b>Agricoles</b>	Utilisations des fertilisants agricoles et des produits phytosanitaires	Engrais chimiques, organiques et pesticides intensifs	Insecticides et pesticides organochlorés, herbicides, composts à déjections animales et humaines mal traités fumures, lisiers etc	Nitrates, phosphate, ammonium, nitrite, endosulfan, lindane, dieldrine, endrine, Coliformes, <i>Escherichia coli</i> ,
<b>Industrielles</b>	Rejets des eaux usées industrielles Elimination des déchets toxiques Fuites dans les stockages de produits	Effluents industriels et divers produits toxiques, gisements de mines	Matières organiques naturelles, produits industriels de synthèse métaux lourds, solvant, graisse et colorants	Nitrates, phosphates, pesticides, sulfates, cuivre, plomb, cadmium, mercure, hydrocarbure, etc

### 1.6.1. Impacts de la pollution sur les ressources en eau

Les rejets des activités anthropiques constituent des sources potentielles de pollution des ressources en eau. En effet, ces rejets contiennent des nutriments, des polluants toxiques et

des microorganismes. La présence de ces paramètres enrichit les cours d'eau et entraîne leur eutrophisation (**Kouakou et al., 2014**). Aujourd'hui, l'eutrophisation des eaux de surface est devenue un problème d'environnement d'ampleur et généralisé. La prolifération des plantes aquatiques (algues, cyanobactéries et macrophytes) s'est amplifiée ces dernières décennies avec l'utilisation accrue de fertilisants chimiques en agriculture et par le développement de l'élevage intensif (**Mama, 2010**). Le problème d'eutrophisation des cours d'eau en Afrique, a entraîné leur abandon à cause du traitement onéreux.

### **1.6.2. Impacts de la pollution sur les espèces aquatiques**

La pollution des écosystèmes aquatiques provoque une multitude de conséquences tant au niveau des diverses biocénoses qu'au niveau de leurs habitats. Dans certains écosystèmes, les produits chimiques peuvent être à l'origine de la disparition de certaines espèces animales et/ou végétales et par conséquent, entraîner le dysfonctionnement de la chaîne trophique (**Gold, 2002**). Les métaux qui sont transférés à travers le milieu aquatique aux poissons, aux hommes et autres animaux piscivores, peuvent avoir des impacts sur l'environnement et la santé humaine (**Chen et al., 2000**). La pollution par les métaux lourds, et comme toutes les autres pollutions (pesticides organochlorés, organo-phosphorés, fongicides, herbicides, hydrocarbures, déchets nucléaires etc.) représente actuellement un facteur toxicologique important, à propriétés toxiques avérées (molécules cancérigènes, tératogènes ou mutagènes), dont les conséquences sur les organismes marins peuvent affecter la vie marine, depuis les producteurs primaires (**Blinda, 2007**).

### **1.6.3. Impacts de pollution de l'eau sur la santé humaine**

Une bonne eau est nécessaire à la santé et indispensable à notre organisme. En effet, l'eau est une composante majeure du sang. Elle contribue au maintien de la tension artérielle, aux transports des substances nutritives, intervient dans le bon fonctionnement de notre organisme et des hormones (**Kangombe, 2020**). Elle assure le maintien de la température corporelle; elle permet également à la digestion des aliments, l'absorption des substances nutritives et l'élimination des déchets (**OMS, 2017**). Selon **OMS (2018)**, l'eau est donc un collaborateur de santé par excellence.

Parallèlement l'eau constitue un facteur principal contribuant au développement des maladies à transmission hydrique provoquant des fléaux sanitaires dans le monde en développement (**Poda ; 2007**). Les maladies hydriques sont provoquées par l'ingestion ou le contact avec des

eaux insalubres. Ces eaux non potables sont vectrices de micro-organismes (bactéries, eucaryotes etc.), de virus et de contaminants chimiques (plomb, pesticides...) qui engendrent des troubles et des pathologies pouvant être mortelles (OMS, 2017). Le déficit d'accès à l'eau potable et à l'assainissement est à la base de l'émergence des maladies hydriques (Sy et al., 2011). Les maladies d'origine hydrique entraînent chaque année 2 millions de décès (OMS, 2017). Les plus exposés au risque de maladie véhiculée par l'eau sont les nourrissons et les jeunes enfants, les personnes affaiblies ou vivant dans des mauvaises conditions d'hygiène et les personnes âgées. Quelques maladies hydriques et leurs pathologies sont présentées dans le **Tableau II**.

**Tableau II:** Différentes maladies hydriques et leurs pathologies (OMS ; 2017)

Origines	Agent pathogène	Maladies associées	Voies de contamination
<b>Bactériennes</b>	<i>Vibrio cholerae</i>	Choléra	Ingestion
	<i>Salmonella</i>	Fièvre typhoïde, Paratyphoïde	Ingestion
	<i>E. coli</i>	Gastro-entérite	Ingestion
	<i>Shigella</i>	Dysenterie bacillaire	Ingestion
	<i>Campylobacter</i>	Gastro-entérite	Ingestion
	<i>Leptospira</i>	Leptospirose	Cutanée Inhalation Ingestion
	<i>Legionella</i>	Légionellose	Inhalation
	<i>Mycobacterium</i>	Tuberculose, ulcère de buruli, lèpre, mycobactériose	Inhalation Ingestion Cutanée
<b>Virales</b>	Virus de l'hépatite A et E	Hépatite A et E	ingestion
	Poliovirus	Paralyse, méningite, fièvre	ingestion
	Coxsackie	Méningite, fièvre, pharyngite, maladie respiratoire	Ingestion
	Entérovirus	Méningite, encéphalite, maladie respiratoire, conjonctivite hémorragique aiguë, fièvre.	Ingestion Ingestion
	<b>Rotavirus</b>	Vomissement, diarrhée	Ingestion
	<b>Virus de Norwalk</b>	Vomissement, diarrhée	Ingestion
	<b>Adénovirus</b>	Maladie respiratoire, conjonctivite, vomissement, Diarrhée	Ingestion
	<b>Calicivirus</b>	Vomissement, diarrhée	Ingestion
<b>Parasitaires</b>	<i>Tænia</i>	Diarrhée, douleurs Musculaires	Ingestion
	<i>Ascaris</i>	diarrhée, troubles nerveux	Ingestion
	<i>Dracunculus (ver de Guinée)</i>	Dracunculose	Ingestion
	<i>Schistosoma</i>	Billharziose	Ingestion
	<i>Cryptosporidium</i>	Diarrhée	Ingestion
	<i>Giardia lamblia</i>	Diarrhée	Ingestion

### **1.7. Normes et recommandations de potabilité des eaux de consommation**

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), l'Union Européenne (UE) et l'United States Environmental Protection Agency (USEPA) ont établi des normes ou des recommandations très strictes relatives à la potabilité de l'eau de consommation. Selon ces institutions internationales, l'eau potable est celle dont la consommation ne présente pas de risque pour la santé. Toutefois, le fait qu'une eau soit potable ne signifie pas qu'elle doit être exempte de matières polluantes, mais que leur teneur soit jugée insuffisante pour déclencher une maladie.. Pour les paramètres microbiologiques, les eaux destinées à la consommation ne doivent pas contenir de bactéries selon (UE, 1998 ; USEPA, 2007 ; OMS, 2017). Les paramètres physico-chimiques et microbiologiques, les recommandations relatives auxdits paramètres sont présentées dans le **Tableau III et Tableau IV**.

**Tableau III:** Références de qualité des eaux destinées à la consommation humaine pour certains paramètres physico-chimiques (UE, 1998 ; USEPA, 2007 ; OMS, 2017)

	Paramètres	OMS	UE	USEPA
<b>Paramètres physiques</b>	pH	6,5 - 8,5	6,5 - 9,5	6,5 - 8,5
	Turbidité	5 UTN	1 UTN	< 0,3 UTN
	Total des Solides dissous	1000 mg/L	500 mg/L	500 mg/L
	Dureté	500 mg/L de CaCO <sub>3</sub>	500 mg/L de CaCO <sub>3</sub>	500 mg/L de CaCO <sub>3</sub>
<b>Paramètres chimiques (mg/L)</b>	Aluminium (Al)	0,2	0,2	0,2
	Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,5	0,5	0,5
	Arsenic (As)	0,01	0,01	0,05
	Cadmium (Cd)			
	Chlore résiduel (cl)			
	Cuivre (Cu)	1	2	1, 3
	Fer (Fe)	0,3	0,2	0,2
	Chlorures (Cl)			
	Fluor (F <sup>-</sup> )	1,5		
	Manganèse (Mn)	0,1	0,5	0,5
	Matière organique (MO)			
	Mercure (Hg)	1.10-6	1.10-6	2.10-6
	Nickel			
	Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	50	50	10
	Nitrite (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	3	0,1	1
	Oxygène (o)			
	Plomb (Pb)	0,005	0,01	0,015
	Sodium (Na)	200	200	200
	Sulfates (SO <sub>4</sub> )	400	250	250
Zinc (Zn)	5	5	5	

**Tableau IV:** Références de qualité microbiologique des eaux destinées à la consommation humaine

Paramètres	Recommandatiuon (OMS)
Germes aérobies mésophiles	300/mL
Coliformes totaux	nd/100 mL
Streptocoques fécaux	nd/100 mL
<i>Eschericha coli</i>	nd/100 mL
Enterocoque	nd/100 mL
<i>Shigella spp</i>	nd/100 mL
Vibrio colerae	nd/100 mL

### **Conclusion partielle**

Ce chapitre a permis de faire une synthèse des eaux consommées en Côte d'Ivoire. Les sources et les types de pollution des eaux ont été évoqués. Il a permis de définir l'eau potable et de faire une synthèse sur les directives de l'OMS pour les eaux de consommation.

### Introduction

Les activités anthropiques génèrent plusieurs types de polluants. Ces polluants sont déversés dans les ressources en eau et l'ingestion de ces polluants constitue une menace pour le consommateur. Il est donc important d'identifier les dangers afin de pouvoir les gérer. Ce chapitre sera consacré à la détermination des substances chimiques toxiques et les microorganismes pathogènes pour l'homme. Nous identifierons les différents dangers chimiques et microbiologiques de l'eau. Nous indiquerons la dose journalière admissible (DJA) pour les substances chimiques ou la dose infectieuse pour les agents pathogènes. Les sources et les voies d'exposition ainsi que les effets de ces dangers sur la santé seront exposés.

#### II.1. Substances chimiques toxiques

La toxicité est la capacité intrinsèque d'un agent chimique à avoir un effet nocif sur un organisme. Les substances chimiques toxiques présentes dans l'eau, sont des paramètres chimiques, dont leur ingestion, leur contact ou inhalation peuvent avoir des effets néfastes sur la santé. Ces substances sont entre autres les métaux lourds et les pesticides (**Barlow et al., 2002**).

##### II.1. 1. Métaux lourds

Dans le monde, chaque jour des centaines de tonnes de polluants sont déversés dans l'environnement. Parmi eux, les métaux lourds sont considérés comme des polluants graves de l'environnement aquatique, à cause de leur rémanence et leur tendance à la bioaccumulation dans les organismes aquatiques (**Kayalto et al., 2014**). Les problèmes associés à la contamination par les métaux lourds ont été tout d'abord mis en évidence dans les pays industrialisés, en raison de leurs développements industriels plus importants (**Sibel et Altindag, 2006**). Aussi à la suite d'accidents dûs à une pollution par le cadmium en Suède et le mercure au Japon (maladie de Minamata de 1949 à 1965) (**Kaki et al., 2011**). Ceux-ci ont suscité une prise de conscience croissante sur la nécessité de gérer rationnellement les ressources aquatiques et notamment de maîtriser les déversements de déchets dans l'environnement (**Assonye et al., 2007**). Bien que le niveau des activités industrielles soit relativement moins élevé dans la plupart des pays africains, ces dernières années, on observe

une importation des produits chimiques à usage agricole, sanitaire et domestique. Les produits chimiques agricoles constituent des sources importantes de production des métaux lourds dans l'environnement. Ces métaux ne sont pas sans conséquence sur la santé humaine et sur l'environnement (**USEPA, 2007**).

En Côte d'Ivoire, plusieurs études ont révélé les éléments traces métalliques dans le milieu aquatique et dans les sols. Notamment, l'exploitation de la décharge non contrôlée d'Akouédo entraîne la contamination des eaux, des sols et de la faune en Eléments Traces Métalliques (ETM) et autres polluants (**Messou, 2015**). Selon **Kouamé et al. (2006)**, la décharge d'Akouédo génère une pollution en ETM dont les concentrations sont comprises entre 10,3 et 1500 ppm et entre 1 et 11,5 ppm, respectivement pour le Plomb (Pb) et le Cadmium (Cd). Les travaux du **Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable (2013)** relatifs aux études de la réhabilitation de cette décharge ont montré que les lixiviats sont très chargés en arsenic (As) avec une concentration de 42,1 mg/L. Les eaux de puits des villages d'Akouédo et de M'Badon du district d'Abidjan ne sont pas en marge de cette situation. Les études réalisées par **Yapi et al. (2014)**, sur la pollution métallique des eaux souterraines et de surface dans un environnement minier aurifère à Hiré ont révélé les teneurs élevées d'arsenic, de cadmium, de mercure, de nickel et de plomb largement supérieures aux valeurs limites fixées par l'OMS pour les eaux de consommation et d'irrigation.

En outre, les teneurs élevées de ces métaux lourds pourraient constituer des risques sanitaires pour la population de la zone d'étude. Selon **Waseem et al., (2014)**, les métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium...) sont des polluants engendrés pour la plupart du temps par des activités humaines. Il serait par conséquent intéressant de connaître les teneurs de ces métaux et évaluer les risques liés à leur ingestion dans les différents types d'eau consommée en Côte d'Ivoire.

On appelle en général « métaux lourds » les éléments métalliques naturels, métaux ou dans certains cas métalloïdes caractérisés par une masse volumique élevée, supérieure à 5 grammes par cm<sup>3</sup> (**Qasim, 2015**). L'appellation métaux lourds est cependant une appellation courante qui n'a ni fondement scientifique, ni application juridique. La classification en métaux lourds est d'ailleurs souvent discutée car certains métaux toxiques ne sont pas particulièrement « lourds » (le zinc par exemple), tandis que certains éléments toxiques ne sont pas tous des métaux (cas de l'arsenic). Pour ces différentes raisons, la plupart des scientifiques préfèrent en lieu et place de métaux lourds, l'appellation « éléments en traces métalliques » ETM ou par extension "éléments traces" (**Hernandez et al., 2003**). Les éléments métalliques sont sous

différentes formes, toujours présentes au sein de l'environnement. En revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins grave. La présence de métaux dans l'environnement résulte des causes naturelles et des activités humaines. Ils posent un problème réel, car ils s'accumulent et ne sont pas biodégradables. Dans cette étude nous nous intéresserons aux éléments-traces métalliques toxiques pour la santé.

### **II.1. 1. 1. Arsenic**

L'arsenic est le quarante-septième élément le plus abondant sur la terre (**Rasheed et al., 2017**). C'est un métalloïde au comportement chimique intermédiaire entre les métaux et les non-métaux (**Manlius et al., 2009**). Il entre dans la constitution de plus de 245 minéraux et est présent à de fortes proportions dans différents minerais métalliques (Cuivre, Plomb, Cobalt et Or). Il constitue 20 à 30 g/kg dans les minerais de cuivre et peut atteindre jusqu'à 110 g/kg dans certains minerais d'or (**Lombi et al., 2000**).

L'arsenic existe dans la nature sous de nombreux états de valence, du fait de sa structure électronique ([As] 3d104s24 p3) avec trois (3) électrons non appariés sur la couche électronique la plus externe. Dans l'environnement, l'arsenic est sous différents degrés d'oxydation stables : (+5), (+3), (0) et (-3) (**Lim et al., 2014**). L'arsenic possède de nombreuses propriétés communes avec les éléments voisins, mais plus particulièrement avec l'azote (N) et le phosphore (P). En milieu aqueux, l'oxyde d'arsenic a un caractère acide. À l'inverse, il se rapproche des métaux par sa conductivité électrique et thermique, sa couleur et la possibilité de former des alliages ou des arséniures semi-conducteurs qui justifient son emploi dans l'industrie électronique (**Leufroy, 2012**). Dans l'environnement, l'arsenic est fréquemment combiné avec d'autres éléments comme l'oxygène, le chlore, le soufre, les métaux pour former les arséniures et rester sous forme inorganique (**Manlius et al., 2009**). Sa forme chimique dépend du pH et surtout du potentiel d'oxydoréduction.

#### **II.1. 1. 1.1. Source d'exposition naturelle**

L'arsenic peut se dissoudre dans les eaux d'infiltration et parvenir aux aquifères et aux cours d'eau, à la faveur de divers processus biogéochimiques (**Kim et al., 2003; Jang et al., 2016**). En effet, le lessivage, les précipitations, l'érosion et le vieillissement des sols entraînent une distribution de l'arsenic vers les compartiments aquatiques sous forme dissoute ou particulaire (**Manlius et al., 2009 ; Bossy, 2010**). Il faut relever que la contamination des eaux par l'arsenic n'est pas uniforme dans l'aquifère. Les régions contaminées par l'arsenic peuvent être

celles où le socle granitique présente des fissures hydrothermales ou bien des régions où la sédimentation a entraîné la formation d'arsénopyrite (**Lenoble, 2003**).

### **II.1. 1. 1.2. Source d'exposition anthropique**

L'arsenic, en plus d'être liée à la contamination naturelle peut provenir des activités industrielles telles que la fabrication de pesticides, de colorants et des métaux (**Rasheed et al., 2017**). Il est plus fréquemment retrouvé associé avec d'autres éléments, formant des composés arséniés principalement inorganiques, mais également organiques. La forme inorganique, est couramment associée à l'oxygène ou au soufre (**Mélinda, 2013**). Les industries du secteur primaire et secondaire contribuent le plus aux apports anthropiques d'arsenic dans l'environnement (**Dufailly, 2008**). Ce sont les fumées provenant des industries de production d'oxyde d'arsenic ( $As_2O_3$ ), de la combustion de produits fossiles (charbons, pétroles, huiles) et de la combustion du bois traité avec du complexe cuivre-chrome-arsenic (CCA) qui constituent les sources majeures de l'arsenic anthropique atmosphérique (**Pichard et al., 2005**). De même, les effluents des fonderies peuvent contenir des proportions élevées en arsenic (**Sánchez-Rodas et al., 2005**). Ainsi, environ 18,8 mg/kg d'arsenic ont été mesurés près d'une manufacture de pesticides à Middleport (New York, États-Unis), et jusqu'à 333 mg/kg autour d'anciennes fonderies de cuivre à Anaconda (Montana, États-Unis) (**Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2007**). L'arsenic étant présent à de fortes proportions dans différents minerais métalliques, les résidus de l'activité minière entraînent une pollution importante par lessivage des déchets miniers et infiltration des eaux. Ainsi, on a pu relever de fortes concentrations d'arsenic dans des eaux de rivières impactées directement par des effluents miniers avec des valeurs atteignant 800 µg/L dans la rivière Tinto en Espagne (**Sánchez-Rodas et al., 2005**). Au Ghana, dans la rivière Ashanti, 10 mg/L d'As ont été mesurés. Dans l'environnement canadien, les installations de production d'or et de métaux constituent les principales sources anthropiques d'arsenic (**Santé Canada, 2006**). Les sols agricoles ou les sites traités avec des pesticides arséniés sont riches en arsenic (**Pichard et al., 2005 ; Leufroy, 2012**). Par ailleurs, dans des élevages de volaille où l'arsenic est utilisé comme antibiotique, l'on a pu constater une pollution des fientes par arsenic (**Lykkes et Kvittingen, 2003**). L'utilisation de poissons et coquillage contaminés en alimentation de volaille amplifie ce phénomène. Les déchets tels que les vieilles peintures au plomb, adhésifs métalliques, pneus usagés, piles, bactéries électroniques et verres contiennent de l'arsenic (**Samadder et al., 2017**).

### **II.1. 1. 1.3. Effet sur la santé**

La toxicité de l'arsenic dépend de sa spéciation, c'est-à-dire de la forme chimique sous laquelle il se trouve, mais aussi de la voie d'absorption. L'intoxication est le plus souvent due à la consommation régulière d'une eau riche en arsenic (**Hamadani et al., 2010**).

L'ingestion d'arsenic entraîne des douleurs abdominales, l'hyperpigmentation de la peau, des vomissements (**Institut National de l'Environnement industriel et des Risques, 2007 ; Wang et al., 2014**). Cette ingestion peut provoquer également une augmentation de l'incidence des avortements spontanés, de morts foetales tardives, de prématurité et de faible poids des nouveau-nés (**Institut National de l'Environnement industriel et des Risques, 2010**). Les indicateurs, les plus sensibles d'une exposition subaiguë ou chronique à l'arsenic sont les effets cutanés. Ils constituent le signe clinique le plus précoce d'une intoxication à l'arsenic (**Manlius et al., 2009**). Ces signes apparaissent pour des niveaux d'exposition de l'ordre de 10 à 100 µg/kg/j et se traduisent le plus souvent par une prolifération anormale des cellules de la peau, des paumes, des mains et de la plante des pieds sous forme de verrues qui peuvent produire des lésions cancéreuses ainsi que des hypo ou d'hyper-pigmentation de la face, du cou et du dos (**Bisson et al., 2006 ; Karagas et al., 2015**). Dans le sang, l'arsenic est lié aux protéines plasmatiques et aux globules rouges (**Akter et al., 2005 ; Ata et al., 2016**).

### **II.1. 1. 1.4. Valeurs toxicologiques de référence**

L'arsenic est un oligo-élément essentiel à la vie dont les besoins ont été évalués entre 10 et 20 µg/jour. Cependant, à des concentrations élevées, il s'avère néfaste pour les êtres vivants. Dans les eaux destinées à la consommation humaine, la valeur seuil recommandée est de 0,01 mg/L (**OMS, 2017**). Au-delà de cette valeur, la consommation de l'arsenic peut avoir des effets néfastes sur la santé. L'ATSDR recommande  $3 \cdot 10^{-4}$  mg/kg/j comme la dose journalière de tolérance (DTJ).

### **II.1. 1. 2. Cadmium**

Le cadmium (Cd) est un métal bléuté, mou et malléable de couleur argentée avec des teintes de bleu lustré (**Aranguren, 2008 ; Belabed, 2010**). Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 48 et 112,41 g/mol. Sa Masse volumique est 8,69 g/cm<sup>3</sup> à 20°C. Il ternit au contact de l'air et réagit avec les acides et les bases. Il a des propriétés physiques proches de celles du zinc. Il est ductile (capacité à l'étirement), malléable (capacité à la mise en forme) et résiste à la corrosion atmosphérique, ce qui en fait un revêtement de protection pour les métaux ferreux (**Akessa, 2014**). Le cadmium est accumulé dans les strates

superficielles des sols et peut être entraîné par les eaux de ruissellement pour atteindre les nappes phréatiques profondes (Aranguren, 2008). Le cadmium est présent de façon importante dans les fruits de mer, certaines céréales (riz, blé...), les champignons, les légumes et dans une moindre mesure, les poissons, les fruits et la viande (Andujar et al., 2010).\*

#### II.1. 1. 2.1. Source d'exposition naturelle

Le cadmium est un élément présent naturellement dans la croûte terrestre à des concentrations d'environ 1 à 2 ppm où il est souvent associé au zinc et au plomb (Sammut, 2007). Il n'est habituellement pas présent comme métal pur dans l'environnement, mais dans son état d'oxydation unique c'est à dire +II (HSDB, 2000). Il est combiné à d'autres éléments comme l'oxygène (CdO = oxyde de cadmium), le chlore (CdCl<sub>2</sub> = chlorure de cadmium) ou le soufre (CdS = sulfure de cadmium ; CdSO<sub>4</sub> = sulfate de cadmium) (ATSDR, 2001). En milieu aquatique, le cadmium est relativement mobile et peut être transporté sous forme de cations hydratés ou de complexes organiques ou inorganiques (HSDB, 2001). Le cadmium serait présent dans toutes les roches, mais de façon prépondérante dans les roches sédimentaires et plus particulièrement dans celles qui sont riches en carbones, en sulfures et en phosphates (INERIS, 2014). Il peut également se trouver dans des gisements de sulfures où il est présent sous la forme de greenockite (CdS).

#### II.1. 1. 2.2. Source d'exposition anthropique

Le cadmium est peu utilisé avant 1930, il n'était pas extrait des minerais d'intérêt et a contaminé les objets faits de zinc, de cuivre et de plomb (Gérard, 2000). Depuis quelque année, le cadmium n'a cessé de voir son utilisation augmenter à travers plusieurs procédés ou produits. Il est utilisé dans l'industrie sidérurgique et dans les plastiques (INERIS ; 2015). La consommation la plus importante de ce métal provient du secteur des batteries de NiCd (83 %) (USGS, 2008). Aussi, le cadmium est utilisé pour la fabrication des pigments, la stabilisation des plastiques comme le polychlorure de vinyle (communément appelé PVC) et le placage de pièces métalliques afin d'empêcher leur corrosion (OMS, 2011). Les métaux non ferreux, les alliages de plomb, de zinc et de cuivre, le fer, l'acier, les combustibles fossiles, le ciment ainsi que les fertilisants phosphatés possèdent des quantités de cadmium non négligeables (valko et al., 2006). Les émissions de cadmium réalisées par les activités naturelles et anthropiques sont rejetées dans les divers compartiments de l'environnement que sont le sol, l'air et l'eau (Zielonka et al., 2009). Les concentrations en cadmium dans l'environnement sont en baisse dans les pays développés grâce à l'amélioration des

technologies concernant la production, l'utilisation et l'élimination du cadmium (**International Cadmium Association's website, 2009**). Cependant dans les pays en voie de développement, l'exposition au cadmium demeure encore un problème. La pollution au cadmium est très inquiétante en Côte d'Ivoire. Des études menées par les chercheurs ivoiriens dans le cadre de la surveillance environnementale ont permis d'appréhender l'état de la pollution des sédiments (5,57 mg/Kg), des sols maraichers (3 mg/kg/ MS). Ce sol ainsi pollué au cadmium affecte les plantes et les cours d'eau (**Trahoré et al., 2015**).

### **II.1. 1. 2.3. Effet sur la santé**

La toxicité du cadmium est connue depuis les années 1950. Il est très toxique sous toutes ses formes (**Godt et al., 2006**). Chez l'homme, les deux principales voies d'exposition au cadmium sont l'inhalation et l'ingestion. Le cadmium n'est pas biologiquement bénéfique au métabolisme des êtres vivants (**Miquel, 2001**). La source principale d'exposition au cadmium dans la population en général, est alimentaire, la contribution d'autres voies d'exposition étant négligeables (**OMS, 2011 ; Koffi et al., 2014**). L'ingestion de dérivés inorganiques du cadmium provoque chez l'Homme des troubles digestifs intenses, caractérisés par des douleurs abdominales (gastro-entérite avec crampes épigastriques), des diarrhées, des nausées et des vomissements (**Tohouri et al., 2017**). Selon, **INERIS (2014)**, les effets toxicologiques du cadmium sur l'organisme peuvent différer en fonction des doses d'expositions. L'exposition chronique au cadmium entraîne l'apparition d'une néphropathie irréversible pouvant évoluer vers une insuffisance rénale (**Bisson et al., 2011**). La toxicité aiguë due au cadmium chez l'homme entraîne une insuffisance rénale avec ostéoporose (déminéralisation et fragilisation des os) et ostéomalacie (déminéralisation et déformation des os) avec des douleurs osseuses intenses (**Godt et al., 2006**). Chez l'homme, le rein est le principal organe cible des effets toxiques chroniques du cadmium.

### **II.1. 1. 2.4. Valeurs toxicologiques de référence**

Le cadmium n'est pas biologiquement bénéfique au métabolisme des êtres vivants (**Miquel, 2001**). La valeur seuil recommandée est de 0.003 mg/l (3 µg/l) (**OMS, 2017**). Au-delà de cette valeur, la consommation du cadmium peut avoir des effets néfastes sur la santé. La dose journalière admissible ou la dose journalière de tolérance (DJA) (DJT) de  $2 \cdot 10^{-4}$  mg/kg/j de cadmium (**ATSDR, 2007 in Bisson et al., 2011**).

### **II.1.1. 3. Plomb**

Le plomb (Pb) est un métal mou résistant à la corrosion. Son numéro atomique et sa masse atomique sont respectivement 82 et 207,2 g/mol. avec une densité de 11,3 g.cm (Aranguren, 2008). Le plomb possède un point de fusion de 327,46°C et une température d'ébullition de 749°C (Aranguren, 2008). Il est difficilement détruit, et non dégradable (Akesse, 2014). Sa configuration électronique autorise les degrés d'oxydation (+II), (+IV), en plus de la forme métal (0). Dans le milieu naturel, les espèces inorganiques du plomb incorporent cet élément sous le degré (+II). Le degré (+II) est stable dans pratiquement toutes les conditions environnementales (INERIS, 2003). Le degré d'oxydation (+IV) n'est représenté que dans des conditions très oxydantes, non rencontrées dans les sols (ATSDR, 2007). Il se retrouve majoritairement dans les composés inorganiques dont la source est principalement anthropique. Le plomb entre dans la composition de près de 240 minéraux naturels identifiés dont les principaux sont des sulfates (anglésite), des carbonates (cérusite), des oxydes (oxyde, dioxyde, tétraoxyde), des hydroxydes, des sulfures (galène) et des phosphates (Sammut, 2007). Il provient généralement des activités industrielles, agricoles et artisanales (ATSDR, 2007 ; Yapi et al., 2014). Le plomb est utilisé dans beaucoup d'activités et se retrouve dans les eaux de surface et les eaux souterraines (Belabed, 2010).

#### **II.1.1. 3.1. Source d'exposition naturelle**

Le plomb est naturellement présent dans la croûte ou le manteau terrestre. Il constitue des gisements primaires dans les roches éruptives et métamorphiques où il est alors présent essentiellement sous forme de sulfure (galène) (United Nations Environment Programme, 2010). Il est redistribué via l'altération dans toutes les roches sous forme de carbonate (cérusite), de sulfate (anglésite) et peut se substituer au potassium dans les roches silicatées et les phosphates. Les principales sources de ce minerai sont les émissions volcaniques. La production de plomb peut aussi résulter de la décomposition radioactive de l'uranium, du thorium et du radon. Le plomb rejeté dans l'atmosphère se dépose sur le sol et dans les milieux aquatiques (Ngaram, 2011). Une partie des quantités présentes dans le sol, avec le temps, arrive également par ruissellement dans les milieux aquatiques. Les teneurs du plomb dans les eaux souterraines sont en conséquence très faibles en dehors des zones minières où le pH de l'eau peut être très acide.

### **II.1.1. 3.2. Source d'exposition anthropique**

De petites quantités de plomb atteignent l'environnement de surface par des processus naturels donnant ainsi une exposition environnementale de base. Cependant, la présence abondante et répandue de plomb est en grande partie une conséquence de l'activité anthropique (**Chanel et al, 1999**). Le plomb est un métal de prédilection pour la fabrication et la production d'un nombre important de produits, allant des pigments de peintures pour céramique à la tuyauterie, jusqu'à son utilisation dans certains produits cosmétiques (**Oulhote, 2012**). Plus récemment, le plomb a aussi été largement utilisé en tant qu'antidétonant pour les carburants automobiles. Il a été aussi utilisé pour la fabrication de batteries d'accumulateurs (**OMS, 2017**). Le minium de plomb a longtemps été le matériau de choix pour protéger les pièces de fer ou de fonte de la corrosion. Ces propriétés ont ainsi permis son utilisation comme anticorrosif dans la tuyauterie d'eau, la couverture de toits, de terrasses, de balcons, pour l'isolation contre le bruit et les vibrations, la protection de câbles, de fils d'acier ou de lignes téléphoniques. En alliage avec d'autres métaux, il permet de produire des fils et des bâtons de soudure (Pb/Sn), des caractères d'imprimerie (Pb/Sb), des bronzes à ciseler, des projectiles de munitions (le trinitrorésorcinate de plomb est également utilisée comme amorce de munition). La capacité qu'a le plomb d'absorber les rayonnements X et gamma trouve une application dans la production de matériels de radioprotection. Divers oxydes et sels de plomb ont été employés pour la production de peintures, d'encres, d'émaux, de matières plastiques, de colorants capillaires. Il est également utilisé en verrerie, notamment pour la production de cristal (**Garnier, 2005**). Malgré le fait que les pays les plus industrialisés ont interdit les peintures au plomb à usage domestique il y a plus de 40 ans, ces peintures continuent d'être largement produites, vendues et utilisées dans les pays en développement (**OMS, 2017**), notamment en Côte d'Ivoire où les études réalisées par **IPEN et FEM (2017)** ont montré leur utilisation. Par le ruissèlement, les rejets des peintures au plomb se retrouvent dans les sols et les ressources en eau. Plusieurs études relatives au plomb ont révélé des teneurs élevées de plomb (**Sangare et al 2016**). Aussi, ces auteurs ont montré que l'exposition au plomb demeure un problème important de santé publique.

### **II.1.1. 3.3. Effet sur la santé**

Le plomb est une substance toxique pour l'homme. Les voies d'exposition au plomb sont : inhalation ou ingestion, l'absorption cutanée est très minime (**OMS, 2011**). Chez les humains, le plomb s'accumule dans l'organisme et a une incidence sur de multiples systèmes organiques. Il se diffuse dans l'organisme pour atteindre le cerveau, le foie, les reins et les os

(Hounsounou et al., 2016). Les enfants sont particulièrement sensibles à l'intoxication au plomb en causant des anémies, la baisse du quotient intellectuel et des troubles du développement neurologique (Etchevers et al., 2017). Chez l'adulte, le plomb serait responsable des troubles neurologiques, d'anémie et peut être à l'origine d'une hypertension artérielle (Tanouayi et al., 2015). Longtemps, les études sur les effets du plomb ont été axées sur la toxicité des fortes doses et les maladies cliniques manifestes : anémie sévère, neuropathie ou encéphalopathie, insuffisance rénale, à des niveaux élevés de plomb dans le sang, supérieures à 700-800 µg/L chez les adultes et les enfants (US EPA, 2006). Dans le début des années 1970, la toxicité sub-clinique chez les travailleurs en milieu professionnel et dans la population générale a été reconnue à des plombémies de 400-600 µg/L pour les adultes et en dessous de 250 µg/L pour les enfants. Dans les années 1980, de nombreuses études ont rapporté des effets du plomb sur le quotient intellectuel des enfants (QI), la réussite scolaire et le comportement à de très faibles plombémies. En Côte d'Ivoire, certaines études sur les eaux ont révélé la présence du plomb dans les eaux de consommation (Ahoussi et al., 2010, Konan et al., 2018).

#### II.1.1. 3.4. Valeurs toxicologiques de référence

Le plomb est une substance toxique, qui s'avère néfaste pour les êtres vivants. Dans les eaux destinées à la consommation humaine, la valeur seuil recommandée est de 0,005 mg/l (50µg/L) (OMS, 2017). Chez les êtres humains, la DJT du plomb est de  $3,6 \cdot 10^{-3}$  mg/kg/j (ATSDR, 2007).

#### II.1.1. 4. Mercure

Le mercure (Hg) est un élément trace qui a été plus particulièrement étudié depuis l'époque où sa responsabilité dans la contamination de la baie de Minamata a été mise en évidence (Foucher, 2009). Le mercure (Hg) est un métal de transition dans la classification périodique (groupe IIB). Considéré comme un métal lourd ( $M = 200.59 \text{ g.mol}^{-1}$ ), il a une densité de 13,6 et une pression de vapeur saturante élevée à température ambiante (Nicola, 2010). Le mercure de couleur argentée, est connu et utilisé depuis l'époque Romaine. Un élément de fascination pour les alchimistes qui ont toujours cru possible de le transformer en or, il était aussi employé comme drogue ou utilisé à des fins médicinales (Foucher, 2009).

#### II.1.1. 4.1. Source naturelle

Le mercure est un élément chimique constituant la croûte terrestre. Le mercure est émis dans l'environnement par les processus naturels, dégazage de la croûte terrestre, les volcans, évaporation à partir des eaux, l'érosion des sols et des roches (Foucher, 2009). Il s'échappe aussi des failles et des fissures géologiques profondes de la croûte terrestre. On le trouve également à l'état naturel dans les roches ignées, métamorphiques et sédimentaires. Mais ce sont les roches ultrabasiqes et alcalines, qui présentent les teneurs les plus importantes (Cortes-Maramba et al., 2006). Les plantes peuvent ingérer du mercure du sol pendant leur croissance et le libérer lorsqu'elles pourrissent (USEPA, 2014). Les émissions naturelles de mercure se produisent principalement sous la forme de vapeurs de mercure élémentaire (Hg<sup>0</sup>). En mouvement dans les différents compartiments de l'écosystème terrestre, le mercure peut être transporté depuis les sols vers les lacs et rivières (Thomassin et al., 2003).

#### II.1.1. 4.2. Source anthropique

En plus de la source naturelle, le développement des activités minières et industrielles a contribué à augmenter les teneurs en mercure dans l'écosystème (USEPA, 2014). L'exploitation de minerais a largement contribué à la contamination des milieux naturels que ce soit directement par des effluents aqueux ou des émissions atmosphériques, ou directement par l'érosion éolienne et le lessivage des sols (Ullrich et al., 2001). En effet, il a été utilisé par les orpailleurs pour amalgamer l'or du minerai ou des sédiments dans les exploitations artisanales (Caille, 2002). On le retrouve plus dilué (1 à 100 µg.g<sup>-1</sup>) dans de nombreux autres types de minerais comme ceux de cuivre, manganèse, zinc, antimoine, or ou argent (Rytuba, 2003). Dans la société industrielle, le mercure est utilisé dans de nombreuses applications-matériel électrique, lampes fluo-compactes, fongicides et pesticides, produits pharmaceutiques, munitions. Il est aussi utilisé dans de nombreux procédés industriels comme la production de papier ou la production de chlore (électrodes à mercure) (Nicolas, 2010). La combustion de charbon a été et est encore l'énergie la plus utilisée par exemple dans les pays émergents, et est donc à l'heure actuelle la source la plus émettrice de mercure dans l'atmosphère. Pacyna et al. (2006) estimaient qu'en 2000, près des 2/3 des 2190 tonnes de mercure anthropique émises à l'atmosphère étaient liées à l'utilisation des sources fossiles. La quasi-totalité du mercure présent dans l'eau potable se trouve sous la forme de Hg<sup>2+</sup>. Il est donc peu probable qu'il y ait un risque direct d'ingestion des composés du mercure, en particulier des alkylmercureurs. Toutefois, il est possible que le méthylmercure soit converti

en mercure inorganique. Les denrées alimentaires sont la principale source de mercure dans les produits non professionnels (OMS, 2011 ; Nicolas, 2010).

#### **II.1.1. 4.3. Effet sur santé**

À l'image de nombreux autres produits chimiques ayant participé au développement scientifique et technique de nos sociétés industrielles, le mercure est devenu dans le même temps, un des nombreux contaminants de l'environnement et de la santé publique (Nicolas, 2010 ; USEPA, 2014). Si le mercure sous sa forme la plus courante (le mercure élémentaire, Hg<sup>0</sup>) n'est qu'irritant en cas d'inhalation, les formes organiques du mercure, dont la plus connue est le méthylmercure (MeHg) sont de véritables poisons ayant déjà été à l'origine de catastrophes sanitaires (Mergler *et al.*, 2002). Selon l'OMS (2011), l'exposition de l'homme aux composés inorganiques du mercure, peut être responsable de l'altération du fonctionnement du foie, du pancréas et des reins. Environ 90 à 95% de méthylmercure (CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>) ingéré est absorbé par les intestins, transporté par le système sanguin vers l'ensemble des organes) (Zheng *et al.*, 2010). Dans les cas extrêmes, les problèmes neurologiques observés chez les gros consommateurs de poissons carnivores peuvent engendrer des paralysies temporaires, voire permanentes (Foucher, 2002). Les concentrations de méthylmercure chez le fœtus peuvent atteindre des niveaux plusieurs fois supérieurs à ceux rencontrés chez la mère, suite à son rapide transfert à travers la barrière placentaire. Le principal organe du fœtus ciblé par le méthylmercure est le cerveau

#### **II.1.1. 4.4. Valeur de référence du mercure**

Le mercure est une substance toxique qui s'avère néfaste pour les êtres vivants. La valeur seuil recommandée par l'OMS (2017) pour l'eau destinée à la consommation est de 0,006 mg/L (6µg/L). Chez les êtres humains, la DJT du mercure est 2 µg/kg/j.

### **II.2. Substances indésirables**

Les paramètres chimiques indésirables sont des paramètres dont leur présence dans l'eau est tolérée jusqu'à un certain seuil (USEPA, 2007). Ce sont les nitrates, les hydrocarbures les phénols, le fer, etc. Dans ce groupe, certaines substances concernent seulement le confort de l'utilisateur (le fer, par exemple). Cependant d'autres substances indésirables en excès peuvent avoir des conséquences sanitaires (les nitrates, le fluor...) (OMS, 2017)

## **II.2.1. Nitrate**

### **II.2.1.1. Source naturelle**

Le nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) et le nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ) sont des composés azotés, des ions naturels omniprésents dans l'environnement qui sont des produits de l'oxydation de l'azote par les microorganismes dans les plantes, le sol ou l'eau (**Matiatos et Evelipidou, 2013 ; McNally et al., 2016**).

### **II.2.1.2. Source anthropique**

La présence des nitrates dans l'eau est principalement liée aux effluents domestiques, industriels et à l'usage des engrais (**Bordeleau et al., 2008**).

Les nitrites proviennent soit de l'oxydation incomplète de l'ammonium, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Ils ne représentent qu'un stade intermédiaire et leur présence d'origine naturelle est rare (**Olivier, 2005**).

Concernant les nitrates, ils constituent le stade final de l'oxydation de l'ammonium en milieu aérobie (**Gao et al., 2012**). Ce sont des polluants azotés souvent rencontrés dans les eaux à des concentrations élevées à cause de leur forte mobilité (**Bordeleau et al., 2008**). En effet, ils sont facilement lixiviables et atteignent les eaux souterraines (**Matiatos et al., 2016**). Leur concentration dans les eaux souterraines varie en fonction de la perméabilité des terrains traversés. Les nitrates sont souvent utilisés comme des indicateurs de pollution fécale quand les données microbiologiques sont absentes (**Dzwairo et al., 2006**). Selon l'United States Environmental Protection Agency (**USEPA, 2006**), les nitrates appartiennent aux substances à effet seuil. En Côte d'Ivoire, des études relatives à la qualité de l'eau ont révélé la présence des nitrates dans les eaux de puits de certaines localités à des concentrations élevées (**Ahoussi et al., 2010 ; Ouattara et al., 2016**).

### **II.2.1.3. Effet sur la santé**

Naturellement, les nitrate à des faibles concentrations ne sont pas toxiques pour la santé humaine mais en excès, ils deviennent préjudiciables à la santé humaine (**Espejo Herra et al., 2015**). Selon **Ward et al. (2018)**, il existe une relation d'ingestion en excès du nitrate et le risque de la méthémoglobinémie et du cancer. Le nitrate une fois ingéré dans l'organisme, est absorbé par l'estomac ou l'intestin. 25% des nitrates absorbés sont sécrétés dans la salive. La microflore buccale réduit environ 20% du nitrite (**Chébékoué, 2009**). En effet, les nitrates sont réduits en nitrites, les nitres se fixent sur l'hémoglobine à la place de l'oxygène et provoquent les difficultés respiratoires chez les nouveaux-nés (**Alimohammadi et al., 2018**).

C'est la méthémoglobinémie (cyanose) qui touche essentiellement les nourrissons (nées ou en gestation) et représente un risque à court terme (**Darvishmotevalli et al., 2013**). Il est également soupçonné de réagir dans l'organisme avec certains composés amines et amides pour former les composés N-nitrosés dont certains pourraient être cancérigènes (**Wikoff et al., 2018**).

#### **II.2.1.4. Valeur de référence**

La dose journalière (DJA) est une estimation de la quantité de l'eau de boisson pouvant être ingérée quotidiennement pendant toute une vie, sans effet préjudiciable sur la santé. De ce fait, **l'OMS (2017)** fixe 50 mg/L comme valeur de référence de nitrate dans les eaux de consommation. Cette valeur guide est fondée sur des données épidémiologiques mettant en avant des cas de méthémoglobinémie chez le nourrisson. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), la dose journalière admissible (DJA) du nitrate pour un adulte est de 3,65 mg par kilogramme (kg). Pour un adulte de 70 kg, cela correspond à 255 mg de nitrates par jour. La dose journalière admissible correspond à la quantité de substance chimique que peut ingérer un homme ou un animal par jour au cours de sa vie, sans affecter sa santé (**USEPA, 2014**). Celle du nitrate est de 3,65 mg/kg/j. La valeur limite maximale du nitrate autorisée par l'OMS dans les adductions d'eau est de 50 mg de nitrates par litre.

### **II.2.2. Fluor**

Le fluor est un élément chimique de numéro atomique 9, de symbole F et de masse molaire 18,998 g. Il appartient à la famille des halogènes en plus du brome (B), du chlore (Cl), de l'iode (I) et de l'astate (At). C'est l'halogène le plus électronégatif de tous les éléments et un oxydant extrêmement puissant (**Dehbandi et al., 2017**). Le fluor est un oligo-élément abondant dans la croûte terrestre et représente le Treizième (13e) élément le plus abondant sur la terre.

#### **II.2.2.1. Source d'émission naturelle**

Le fluor (**F**) est un élément commun qui est largement distribué dans la croûte terrestre. C'est un oligo-élément abondant dans la croûte terrestre et il existe dans la forme des fluorures dans un certain nombre de minéraux, tels que le spath fluor, la cryolite et le fluor apatite (**Dehbandi et al., 2017**). Il appartient à la famille des halogènes en plus du brome (B), du chlore (Cl), de l'iode (I) et de l'astate (At). C'est l'halogène le plus électronégatif de tous les éléments et un oxydant extrêmement puissant. Le fluor réagit sur l'eau pour former l'oxygène

et l'acide fluorhydrique. Il a pour numéro atomique 9 et de masse molaire 18,998 g. Le fluorure peut être dissous dans l'eau et augmenter sa concentration en eaux souterraines (**Farooqi et al., 2007**). La concentration du fluorure dans l'eau dépend de nombreux facteurs, dont le pH, les solides totaux, l'alcalinité et la dureté (**Baghani et al., 2017**).

#### **II.2.2.2. Source d'émission anthropique**

Le fluor peut également provenir des activités anthropiques telles que l'utilisation intensive d'engrais phosphatés, d'insecticides ou d'herbicides (**Yousefia et al., 2017**). Il est également utilisé dans la fabrication du verre, des céramiques, de l'émail, de la poterie, du ciment, de l'aluminium, de l'acier et dans le soudage (**Malago et al., 2017**). Le fluor est largement utilisé dans les préparations dentaires pour lutter contre les caries dentaires, en particulier dans les régions où la consommation de sucre est élevée (**OMS, 2011**). Celui-ci peut se présenter sous forme de comprimés, de bains de bouche, dentifrice, vernis ou gels pour application locale. Dans certains pays, le fluorure peut également être ajouté au sel de table ou à l'eau potable afin de fournir une protection contre les caries (**Cai et al., 2016**). Les quantités ajoutées à l'eau potable sont telles que les concentrations finales sont généralement entre 0,5 et 1 mg/L. Bien que l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ait fixé la limite recommandée de fluorure de 1,5 mg/l dans l'eau potable, plus de 200 millions de personnes dans le monde consomment de l'eau potable avec une forte concentration de fluorure supérieure à la norme de l'OMS (**Yadav et al., 2013**). Des concentrations élevées du fluorure ont été trouvées dans de nombreuses parties du monde, en particulier dans certaines parties de l'Inde, de la Chine, de l'Afrique centrale et de l'Amérique du Sud (**Malago et al., 2017**). Bien que le fluorure soit considéré comme un polluant dans la plupart des eaux en Afrique, les eaux de la côte d'Ivoire contiennent des teneurs encore en dessous de la recommandation de l'OMS (**Oga et al., 2016 ; Konan et al., 2017**).

#### **II.2.2.3. Effet sur la santé**

Le fluor fait son entrée dans l'organisme humain à travers les aliments, l'air, l'eau de boisson et les médicaments. La plus importante source d'apport demeure l'eau de boisson (**Yang et Liang, 2011**). L'ingestion de l'ion fluorure peut avoir des effets bénéfiques ou nocifs sur la santé humaine en fonction de la dose ingérée (**Ullah et al.; Dehbandi et al., 2017**). A de faibles doses, l'ion fluorure est une mesure efficace pour prévenir, sécuriser et contrôler la santé dentaire (**Yousefi et al., 2017**). En effet, il participe à la formation des os et des dents et aussi à la protection contre la carie dentaire, spécialement chez les enfants (**Jean-Pierre et al,**

**2013**). Pour avoir des effets protecteurs, la concentration minimale requise dans l'eau de boisson est d'environ 0,5mg/L (**Chouhan et Flora, 2010**). A de fortes doses, l'ion fluorure peut endommager les os et les dents des enfants et des adultes (**Edmunds et Smedley, 2013 ; Khorsandi et al., 2016**). Il peut avoir des effets destructeurs sur la structure et le métabolisme des tissus mous tels que les reins, le foie, les poumons et les testicules (**Zhang et al., 2016**). L'ingestion du fluor à des fortes doses peut également réduire le quotient intellectuel (QI) chez les enfants. Des niveaux élevés de fluorure ont des effets neurotoxicologiques ainsi qu'un potentiel de cancer du squelette (**Craig et al., 2015**).

#### **II.2.2.4. Valeur de référence**

La valeur guide recommandée par l'Organisation mondiale de la Santé est de 1,5 mg/L (**OMS, 2017**). Selon l'OMS, dans les zones tempérées, la fluorose dentaire se manifeste lorsque la concentration de fluorures dans l'eau excède 1,5 à 2 mg/L.

### **II.3. Microorganismes pathogènes d'origine hydrique**

Les principaux microorganismes pathogènes d'origine hydrique sont les bactéries, les virus et les protozoaires. Un agent pathogène est un facteur capable d'engendrer une lésion ou de causer une maladie chez les humains (**Ayad, 2017**). Les microorganismes pathogènes de l'eau potable peuvent se diviser en trois types: les bactéries, les virus et les parasites protozoaires. Les bactéries et les virus peuvent exister dans les eaux de surface et les eaux souterraines, tandis que les parasites protozoaires se trouvent principalement dans l'eau de surface.

Les bactéries pathogènes sont des bactéries capables de causer une maladie chez l'homme ou les animaux. Elles sont responsables des affections liées à la santé des manipulateurs et des consommateurs. On distingue deux types bactéries pathogènes, dont les bactéries infectieuses et les bactéries toxigènes (**Ayad, 2017**). Les bactéries infectieuses agissent lorsqu'elles sont consommées. Une fois ces bactéries ingérées, elles dérèglent le système digestif (**Coulibaly, 2012**). Quant aux bactéries toxigènes, elles produisent une toxine dans l'aliment entraînant le consommateur malade. Certaines toxines sont très résistantes à la pasteurisation et à la stérilisation (**Roudaut et Lefrancq, 2005**).

Les principales bactéries pathogènes généralement recherchées dans les eaux de consommation sont : *le Vibrio cholerae*, *la Salmomella*, *Escherichia coli* *Shigella*, *Campylobacter* et *Yersinia* etc. (**OMS, 2011**).

### **II.3.1. *Escherichia coli* (E. coli) O157-H7**

Le genre *Escherichia* appartient à la famille des *Enterobacteriaceae* (Fanny, 2011 ; Jessen et al., 2013). Il a été décrit pour la première fois en 1885 après avoir été isolé dans des selles de nourrissons par l'allemand Theodor Escherich. Son nom actuel lui est ensuite donné en 1919 par Castellani et Chambers (Diallo, 2013). Le genre *Escherichia coli* regroupe cinq espèces : *E. blattae*, *E. coli*, *E. fergusonii*, *E. hermannii* et *E. vulneris*. Le genre *Escherichia coli* est considéré comme un hôte normal, c'est-à-dire commensal de la microflore digestive de l'homme et de la plupart des animaux à sang chaud (Teuinis et al., 2004). Il est recherché dans les aliments ou l'eau comme indicateurs de contamination fécale (Edberg et al., 2000 ; Adjahouinou et al., 2014). Selon Tallon et al. (2005), sa présence dans un aliment ou l'eau doit donc être considérée comme reflétant la présence possible de micro-organismes pathogènes d'origine digestive fécale ou entérique. La majorité des souches d'*Escherichia Coli* sont des saprophytes et des commensales. Bien que, la majorité de ces souches soient des commensales, certains sont des pathogènes (Teuinis et al., 2004). C'est le cas des souches d'*Escherichia coli* dites entérohémorragiques (EHEC). Elle a été identifiée comme pathogène pour la première fois en 1982 et a été isolée dans l'eau en 1989 (Jessen et al., 2013).

#### **II.3.1.1. Source et voies d'exposition**

*Escherichia coli* entéropathogènes sont des organismes entériques et l'homme est le principal réservoir, en particulier pour les souches EPEC, ETEC et EIEC (Zhou et al., 2018). Le bétail constitue la principale source de souches EHEC (Balière, 2016). Les organismes pathogènes ont été détectés dans divers environnements aqueux (Smati et al., 2015). La voie d'exposition est associée à une transmission de personne à personne, au contact avec des animaux, à la nourriture et à la consommation d'eau contaminée (Varela et al., 2015). La transmission de personne à personne prédomine en particulier dans les communautés où les individus sont confinés, par exemple dans les maisons de soins et les crèches. La transmission liée à l'eau d'*Escherichia coli* pathogènes a été bien décrite pour les eaux de loisir et l'eau de boisson contaminée (OMS, 2011).

#### **II.3.1.2. Effet sur la santé**

Les souches O157-H7 produisent de la toxine, shigatoxines (STEC) pouvant causer de graves dommages aux parois de l'intestin (Kumar et al., 2014). Elles sont caractérisées par des infections intestinales et des diarrhées. Celles-ci peuvent parfois être sanglantes, associées à la fièvre, aux vomissements, aux douleurs abdominales, à une déshydratation (les symptômes

classiques de la gastro-entérite) (Edberg et al., 2000 ; Gouali, 2013). L'infection causée par *Escherichia coli* O157:H7 peut survenir chez les personnes de tout âge, bien qu'une infection grave soit fréquente chez l'enfant et les personnes âgées (Fleckenstein et al., 2019). L'infection est plus propagée dans les pays en voie de développement ne disposant pas de service d'installation sanitaire et de service de traitement de l'eau potable adéquat (Baraka, 2012). La transmission liée à l'eau de *Escherichia coli* pathogènes a été bien décrite pour les eaux de loisir et l'eau de boisson contaminée. Une flambée de maladie liée à l'eau et provoquée par *Escherichia coli* O157:H7, dont les médias se sont fait largement l'écho, s'est produite dans la communauté rurale de Walkerton dans l'Ontario, au Canada (OMS, 2011).

### II.3.1.3. Dose infectieuse

La dose infectieuse d'*Escherichia Coli* O 157 : H7 chez l'adulte est estimée à 10<sup>8</sup> microorganismes, mais les enfants, les personnes âgées et les personnes handicapées pourraient être vulnérables à des doses inférieures.

### II.3.2. *Salmonella spp*

Les *Salmonella spp.* appartiennent à la famille des Enterobacteriaceae. Ce sont des bacilles mobiles à Gram négatif qui ne fermentent pas le lactose, mais la plupart produisent du sulfure d'hydrogène ou des gaz issus de la fermentation des glucides (Amelida, 2018). À l'origine, elles étaient groupées en plus de 2000 sérotypes selon leurs antigènes somatiques (O) et flagellaires (H) (Koffi, 2015). La nomenclature et la taxonomie de *Salmonella* ont fait l'objet de nombreux débats et il est admis à présent qu'il y a en réalité deux espèces (*Salmonella enterica* et *Salmonella bongori*) (Popoff et al., 2003). Les autres espèces précédemment reconnues, notamment *Salmonella typhi.* et *Salmonella. paratyphi.* sont considérées comme des sérotypes (Pui et al., 2011 ; Sheth et al., 2011).

#### II.3.2.1. Source et voies d'exposition

Les *Salmonella spp.* sont largement répandues dans l'environnement mais certaines espèces ou sérotypes présentent une spécificité d'hôte (Shu-Kee et al., 2015). En particulier, *S. typhi* et généralement *S. paratyphi* sont inféodés à l'homme bien que le bétail puisse occasionnellement être une source de *S. paratyphi* (Todd, 2008). Un grand nombre de sérotypes, notamment *S. typhimurium* et *S. Enteritidis*, infectent l'homme mais également une grande variété d'animaux, dont les volailles, bovins, porcins, ovins, oiseaux et même reptiles (Bergeron, 2009). Les agents pathogènes pénètrent généralement dans les réseaux de

distribution d'eau suite à une contamination fécale due à des eaux usées, du bétail ou des animaux sauvages. La *Salmonella* se propage par voie fécale-orale. L'infection par des espèces typhiques est associée à la consommation d'eau ou de nourriture contaminée, la propagation directe de personne à personne étant peu fréquente (Majowicz et al., 2010).

### II.3.2.2. Effet sur la santé

Le genre *Salmonella* est ubiquitaire, pathogène pour les humains et responsable de la salmonellose. La salmonellose est une infection due à la bactérie du genre *salmonella*, responsable de la fièvre entérique ou fièvre Typhoïde et la salmonellose non typhique (Hammack, 2009; Almeida, 2018). La salmonellose non typhique survient plus fréquemment dans les pays industrialisés, tandis que la fièvre typhoïde touche principalement les pays en développement (Pui et al., 2011). La salmonellose non typhique se manifeste par une gastro-entérite aiguë, causée par des salmonelles dites mineures telles que (*S. typhimurium*, *S. enteritidis*, *S. dublin*). La forme infectieuse aiguë est caractérisée par un début brutal et accompagnée de douleurs abdominales, de diarrhée, de nausées et de vomissements (Aubry, 2013). Les décès sont rares sauf chez les très jeunes sujets et chez les personnes très âgées ou affaiblies (immunodéprimées). S'agissant de la fièvre typhoïde, elle est caractérisée par une infection gastro-intestinale et accompagnée des maux de tête, de la fatigue et des nausées.(Chen et al., 2013). Cette maladie est causée par l'ingestion d'eau et/ou d'aliments contaminés par des selles de personnes infectées ou, par une transmission entre des personnes (ANSES, 2011). Dans les pays industrialisés, grâce aux meilleures conditions de vie et au contrôle systématique des eaux de distribution, les cas sont devenus sporadiques mais elle est restée endémique dans les pays en développement (Asie, Afrique et Amérique latine), où elle est devenue un problème de santé publique non négligeable (Liu et al., 2018). Les *Salmonellas pp.* sont relativement sensibles à la désinfection. Dans le cadre d'un plan de sécurité de l'eau, les mesures de contrôle qui peuvent être appliquées pour gérer les risques comprennent la protection des approvisionnements en eau brute contre les déchets humains et animaux, le traitement adéquat et la protection de l'eau lors de la distribution (Amadi et al., 2017).

### II.3.2.3. Dose infectieuse

La dose infectieuse de la salmonellose varie selon le sérotype. Selon ANSES (2011), les infections liées à l'ingestion du genre *salmonella* peuvent se déclarer entre  $10^1$  et  $10^{11}$  cellules. En outre, la dose infectieuse varie selon les conditions de croissance de la souche bactérienne ingérée, de l'état de santé et de l'âge de l'hôte (Mahajan et al., 2003; Pui et al., 2011).

Aussi, la dose infectieuse peut également être fonction du degré d'acidité dans l'estomac du sujet (ANSES, 2011).

### II.3.3. Shigelle

La bactérie shigelle du genre *shigella*, fut nommée en l'honneur du bactériologiste japonais Kiyoshi Shiga (1870-1957) qui découvrit l'agent de la dysenterie bacillaire en 1897 au cours d'une grave épidémie au Japon (Goita, 2014). Les *Shigella* spp. sont des bacilles à Gram négatif, non sporulants, non mobiles de la famille des Enterobacteriaceae, qui peuvent se multiplier en présence ou en l'absence d'oxygène (Chatterjee et Raval, 2019). Les membres de ce genre présentent un profil antigénique complexe et la classification est fondée sur leurs antigènes somatiques O dont beaucoup sont communs aux autres bacilles entériques, notamment *Escherichia coli*. (Shahin et al., 2018). Il existe quatre espèces : *Shigella dysenteriae*, *Shigella flexneri*, *Shigella boydii* et *Shigella sonnei* (Alizadeh-Hesar et al., 2015 ; Fogolari et al., 2018).

#### II.3.3. 1. Source et voies d'exposition

L'homme et les primates supérieurs sont les seuls hôtes naturels des shigelles. Les bactéries restent localisées dans les cellules épithéliales intestinales de leurs hôtes (Chatterjee et Raval 2019). Les épidémies de shigellose se produisent dans des communautés surpeuplées et où l'hygiène est médiocre. De nombreux cas de shigellose se produisent dans des garderies, des prisons et des institutions psychiatriques (OM, 2017). Les groupes militaires en manoeuvre et les voyageurs dans des zones caractérisées par de mauvaises conditions d'assainissement sont également susceptibles d'être infectés. Les *Shigella* spp. sont des organismes pathogènes entériques principalement transmises par voie fécale-orale, par contact de personne à personne, par la nourriture et l'eau contaminées. Les mouches ont également été identifiées comme vecteurs de transmission à partir de déchets fécaux contaminés (Nisa et al., 2020). Les *shigella* ne sont pas particulièrement stables dans des environnements aqueux, leur présence dans l'eau de boisson indique une contamination fécale humaine récente (João, 2010). De nombreuses études ont identifié des facteurs de risque et des effets protecteurs pour l'incidence de la shigellose et la mort. Malgré l'amélioration progressive de l'approvisionnement en eau, la shigellose reste endémique parmi les populations défavorisées vivant sous les tropiques, souvent parmi les populations déplacées à la suite de catastrophes naturelles les catastrophes et les crises politiques (WHO, 2020). La lutte contre *Shigella* spp. dans les approvisionnements en eau de boisson est d'une importance particulière pour la santé

publique en raison de la gravité de la maladie que ces bactéries provoquent (OMS, 2017). Les *Shigella* spp. sont relativement sensibles à la désinfection. Dans le cadre d'un plan de gestion de la sécurité sanitaire de l'eau, les mesures de maîtrise des risques pouvant être appliquées à la gestion des risques potentiels comprennent la protection des approvisionnements en eau brute contre les déchets humains, un traitement approprié et la protection de l'eau pendant la distribution (OMS, 2011 ; Goita, 2014) .

### II.3.3.2. Effets sur la santé humaine

Les *Shigella* sont responsables de la shigellose, généralement connues comme un pathogène d'origine hydrique. Elle est également transmise par les aliments contaminés et le contact direct de deux personnes (Shahin et al., 2018). Cette bactérie est l'une des principales causes des maladies diarrhéiques chez les enfants et les personnes âgées dans les pays en voie de développement (Nicolas et al., 2007). Il s'agit d'infections intestinales localisées essentiellement dans le gros intestin où les germes se multiplient en provoquant une inflammation de la muqueuse. Cette inflammation se traduisant par des douleurs abdominales, les vomissements, de forte fièvre et une diarrhée glaireuse et sanguinolente (Anderson et al., 2017). Selon l'organisation mondiale de la santé, plus deux millions d'infections surviennent chaque année, entraînant près de 600 000 décès, principalement dans les pays en développement. (WHO, 2020).

### II.3.4. *Vibrio*

Les bactéries du genre *Vibrio* appartiennent à la famille des vibrionaceae. Ce sont des bactéries à Gram négatif et des oxydase positif (Baker-Austin et al., 2017). Il existe un certain nombre d'espèces pathogènes, notamment *Vibrio cholerae*, *Vibrio parahaemolyticus* et *Vibrio vulnificus*. *Vibrio cholerae* (Yano et al., 2014). Les *vibrio* sont très sensibles à la dessiccation et à l'acidité et aux agents désinfectants (Johnson et al., 2010; Garrido-Maestu et al., 2016).

L'espèce la plus connue du genre *Vibrio* est le *Vibrio cholerae*. Il été isolé pour la première fois comme agent responsable du choléra par l'anatomiste italien Filippo Pacini en 1854. Cependant, certaines espèces de *Vibrio* sont également pathogènes pour l'homme dont les plus importants sont les *V. parahaemolyticus*, *V. vulnificus* et *V. cholerae* (Yano et al., 2014 ; Zaw et al., 2018).

#### **II.3.4.1. Source et voies d'exposition**

Les genres *vibrio* ont pour habitat le milieu marin. Ils sont présents dans le milieu, soit à l'état libre, soit associés à différents supports comme les sédiments, les particules en suspension et les planctons. Ils sont également dans l'intestin et les tissus des poissons, des crustacés et des coquillages. Ils sont donc présents naturellement dans la matière première de produits alimentaires (Goita, 2014). *Vibrio cholerae* non toxigène est largement répandu dans les environnements aqueux mais ce n'est pas le cas des souches toxigènes. L'homme est une source connue du *Vibrio cholerae* toxigène (Wang et al., 2017). *Vibrio. cholerae* toxigène a également été observé en association avec des copépodes vivants ainsi que d'autres organismes aquatiques, notamment des mollusques, des crustacés, des algues et des cyanobactéries (xie et al., 2012 ; Hu et al., 2013). Le choléra est généralement transmis par voie fécale-orale et l'infection est principalement contractée par ingestion d'eau et de nourriture souillée par des contaminations fécales (Gerba, 2009). La présence des sérotypes pathogènes *V. cholerae* O1 et O139 dans les approvisionnements en eau de boisson est un problème d'importance majeure pour la santé publique et elle peut avoir des conséquences économiques dans les communautés affectées (Abubakar et al., 2018) . Il est très sensible aux procédés de désinfection (OMS, 2011).

#### **II.3.4.2. Effet sur la santé**

Le choléra est une maladie diarrhéique due à une infection intestinale provoquée par le bacille *Vibrio cholerae* (Scallan et al., 2011). Dans la plupart des cas, l'infection ne provoque qu'une diarrhée bénigne caractérisée par des pertes hydriques abondantes pouvant entraîner un état de déshydratation sévère (Nkoko, 2009 ; Safa et al., 2008). En l'absence de traitement, le choléra est mortel dans 25 à 50 % des cas, mais le traitement réduit le taux de mortalité à moins de 1 %. Le choléra se transmet par voie féco-orale. Il peut également se faire de personne à personne principalement par un contact direct avec des mains contaminées et par l'ingestion d'eau ou d'aliments contaminés par des matières fécales et par les vomissements d'une personne infectée (Huehn et al., 2014).

#### **II.3.4.3. Dose infectieuse**

La dose infectieuse est le nombre de micro-organismes nécessaire pour déclencher une infection chez une personne ou un animal. La dose infectieuse du *vibrio cholerae* est  $10^8$  germes.

Des substances chimiques et des contaminants microbiens dans les eaux de consommation constitueraient des dangers pour le consommateur. Il serait donc, opportun de solliciter l'évaluation du risque pour estimer l'exposition de la population consommatrice de l'eau.

### **Conclusion partielle**

Ce chapitre a permis d'identifier les différents dangers de l'eau ; c'est à dire les métaux lourds (arsenic, cadmium, plomb et mercure), les substances indésirables (nitrate, fluore) et les bactéries pathogènes. Il a également mis en exergue les voies d'expositions et les effets de ces dangers sur la santé humaine. Les doses journalières admissibles ou les doses infectieuses ont été indiquées.

---

## CHAPITRE III. GENERALITES SUR L'ANALYSE DES RISQUES

---

### Introduction

L'évaluation du risque est le volet scientifique et la partie objective de l'analyse du risque. Aujourd'hui, elle est beaucoup utilisée pour assurer la sécurité des hommes, des biens et de l'environnement. Pour appréhender cet outil, dans ce chapitre, nous définirons d'abord l'évaluation du risque et nous montrerons son importance dans le monde. Nous montrerons par la suite la différence entre l'évaluation qualitative du risque et l'évaluation quantitative du risque. En outre, Les différentes étapes de l'application de l'évaluation du risque seront évoquées et la différence entre le risque et le danger sera précisée. Et enfin, nous évoquerons l'application de l'évaluation du risque dans certaines matrices dans le monde et son application dans le domaine scientifique en Côte d'Ivoire.

#### III.1. Définition

Pour protéger la population en leur garantissant une meilleure qualité de vie, des liens ont été établis entre les dangers biologiques ou chimiques et des maladies d'origine alimentaire (FAO /OMS, 2005). Il a été possible d'évaluer le risque pour la santé publique et de proposer des mesures pour assurer la sécurité des consommateurs grâce à l'analyse des risques.

L'analyse du risque est définie comme une démarche scientifique faite dans le but d'identifier les dangers connus ou potentiels, d'en apprécier les risques, de les gérer et de communiquer sur leurs effets (Cerf *et al.*, 1996). Elle peut être également définie comme étant une manière d'organiser les informations disponibles sur un événement potentiel donné. Ensuite, de les traduire en probabilité en tenant compte des hypothèses, des variabilités et des incertitudes afin d'en déduire des décisions ou de prendre des mesures préventives (Schlundt, 2002 ; Toma *et al.*, 2002). Elle est une approche logique qui a été utilisée avec succès pour gérer de nombreux types de risques microbiologiques et chimiques des aliments, de l'environnement, etc. (Assidjo *et al.*, 2013). Selon le *codex Alimentarius*, l'analyse du risque est un mécanisme de prise de décisions comportant trois volets distincts mais intimement liés à savoir: l'évaluation du risque, la gestion du risque et la communication sur le risque (FAO/OMS, 2010). Avant d'aborder les étapes de l'analyse du risque, il convient d'établir une distinction entre risque et danger.

### III.1.1. Danger

Un danger est un potentiel de préjudice ou de nuisance aux personnes, aux biens ou à l'environnement (**Desroches, 2013**). Il peut être un agent biologique, chimique ou physique présent dans une denrée alimentaire ou dans l'environnement susceptible d'avoir un effet adverse sur la santé des hommes, des animaux et des plantes. Les dangers chimiques ingérés à forte dose et même à faible dose de façon répétée s'accumulant dans l'organisme peuvent provoquer après plusieurs années des effets néfastes sur la santé de l'être vivant (**Barlow et al., 2002**). L'ingestion des dangers biologiques à de fortes doses provoque des effets aigus sur la santé (**Barlow et al., 2002**). Concernant les dangers physiques, ils sont représentés par des corps étrangers et l'effet est immédiat (**Rigaux, 2013**).

### III.1.2. Risque

Le risque est la probabilité pour qu'un effet nocif survienne sur la santé d'un individu après exposition à un danger (**Toma et al., 2002 ; Codex Alimentarius Commission, 2007**). La sévérité du risque se traduit par les différentes formes de maladies dépendantes du niveau d'exposition au danger à la consommation (Quantité et fréquence de consommation). Le risque sanitaire induit par l'ingestion de l'eau polluée peut être immédiat ou différé dans le temps selon le danger.

### III.2. Evaluation du risque

L'évaluation du risque est une composante de l'analyse du risque. Elle est le volet scientifique et la partie objective de l'analyse du risque (**Kouamé, 2013**). C'est un moyen systématique pour organiser l'information et la connaissance disponible, pour spécifier le niveau de certitude scientifique en relation avec les données, les modèles et les hypothèses nécessaires (**Evens, 2003**). Elle est en même temps utilisée comme instrument de politique pour établir des directives, des modèles et d'autres recommandations pour la santé publique dans le but d'assurer la protection du consommateur et de faciliter le commerce international (**Codex Alimentarius, 2007**). L'évaluation du risque s'inscrit dans le cadre d'une demande pour une sécurité accrue de la chaîne alimentaire de la part des autorités publiques et des consommateurs. Cette demande est d'autant plus forte que, durant ces dernières années, des crises alimentaires majeures, telles que la crise de la dioxine dans la viande de poulet, l'encéphalopathie spongiforme bovine ou *Listeria monocytogenes* dans les fromages au lait cru, ont ébranlé la confiance du consommateur (**WHO, 2008**). L'évaluation du risque permet de donner des réponses aux responsables de la santé, aux vétérinaires et aux industriels. Elle

permet de déterminer le risque pour une population donnée face à un danger, d'estimer le nombre de cas suite à l'ingestion d'une denrée contaminée, de simuler les conséquences d'un accident dans la chaîne alimentaire. L'évaluation du risque présente les mesures de prévention efficaces, propose des scénarii possibles afin de réduire le nombre de cas et les coûts associés (Schlundt, 2002). Elle est utilisée dans de nombreux domaines tels que la microbiologie, la chimie, la santé humaine, la santé animale, les échanges internationaux, l'écologie et l'environnement. Il existe deux approches générales pour l'évaluation du risque : évaluation qualitative et quantitative.

### **III.2.1. Evaluation qualitative**

L'évaluation qualitative est une analyse descriptive, basée sur des données constituant une base inadéquate pour des estimations numériques des risques (Coulibaly, 2015). Elle est utilisée, lorsque les données, le temps et/ou d'autres ressources sont limités (Assidjo et al., 2013). L'évaluation qualitative des risques s'appuie simplement sur l'examen de la documentation ou un résumé des informations disponibles sur un sujet. Elle permet néanmoins d'opérer une classification des risques ou un classement en catégories descriptives (risque de niveau élevé, moyen, modéré, faible, négligeable, etc.) (Soubra, 2008). L'étude qualitative met en avant les comportements et les opinions de certains consommateurs. Celle-ci peut être entreprise comme une première évaluation d'un problème de sécurité afin de déterminer si le risque est suffisamment important pour justifier une analyse plus détaillée.

### **III.2.2. Evaluation quantitative**

L'évaluation quantitative est une analyse mathématique des données numériques. Elle permet, par des calculs, d'attribuer une valeur numérique aux risques et à combiner d'une part la probabilité d'un aléa sanitaire et d'autre part, la gravité de cet aléa (Delhalle et al., 2008). Les résultats peuvent comporter une description numérique de l'incertitude (Huyghebaert et Vanthemsche, 2005). L'étude quantitative est un dénombrement et une validation des hypothèses définies dans l'étude qualitative (Soubra, 2008). L'évaluation quantitative du risque peut être déterministe ou probabiliste.

#### **III.2.2.1. Approche déterministe**

L'évaluation du risque déterministe ou l'estimation ponctuelle s'applique à une approche où des valeurs ponctuelles numériques sont utilisées. Dans le cas de l'approche déterministe, on utilise des valeurs simples telles que la valeur moyenne ou des valeurs extrêmes comme

entrées (**Delhalle et al., 2008**). Pour estimer le nombre moyen d'un agent pathogène auquel un individu peut être exposé, le niveau moyen de contamination d'un aliment est associé à la quantité moyenne de nourriture consommée par un individu (**Cornu et al., 2003 ; Dibi, 2018**). L'estimation pouvait être également faite pour les gros consommateurs. Ainsi, cette approche produit une seule valeur de l'estimation des risques.

### **III.2.2.1. Approche probabiliste ou stochastique**

L'approche probabiliste tient compte de toutes les données disponibles et utilise des distributions de probabilité pour décrire les paramètres qui contribuent au risque (**Akmal et al., 2017**). Dans les approches probabilistes ou stochastiques de l'évaluation des risques, des preuves scientifiques sont utilisées pour établir les probabilités d'évènements individuels, qui sont combinées pour déterminer la probabilité d'un effet négatif sur la santé (**OMS, 2007**).

Une modélisation mathématique de la variabilité des phénomènes est utilisée (**Delhalle et al., 2008**). Cette approche est généralement considérée comme celle décrivant plus fidèlement la réalité. On utilise des distributions de données de concentration et de consommation pour obtenir comme résultat des distributions de probabilités.

### **III.2.3. Application de l'évaluation du risque**

L'évaluation du risque est une méthode récente, mais en plein essor dans les pays industrialisés. Aujourd'hui, avec les efforts conjugués de ces pays, les bases de données sont améliorées. La gestion des données a connu une croissance significative dans tous les secteurs industriels. Nous pouvons, par conséquent, nous attendre à des progrès significatifs dans ce domaine (**Assidjo et al., 2013**). La disponibilité des bases de données interactives avec la participation de tous (industrie, organismes de santé publique, organismes de réglementation et universités) y compris les données provenant du monde entier permettront d'augmenter la certitude des prévisions et la capacité d'appliquer l'évaluation quantitative du risque pour améliorer la sécurité sanitaire des aliments.

De ce fait, l'application d'évaluation du risque est fortement recommandée par les organisations nationales et internationales (**FAO/OMS, 2011**). Ainsi plusieurs auteurs ont-ils étudié l'application des méthodes d'évaluation du risque pour diverses matrices et dangers (**WHO, 2008**).

L'application de la méthode de l'évaluation du risque a permis d'obtenir des bases de données sur des oeufs. En Europe, cette méthode a permis d'estimer le nombre de cas de la salmonellose lié à la consommation de portions d'œufs de table, ainsi que la probabilité de

maladie liée à l'ingestion d'une portion aléatoire d'œufs de table (**FAO/ OMS, 2010**). Ces auteurs ont montré par la méthode d'évaluation des risques, que la contamination des œufs par la *Salmonella Enteritidis* était liée à la durée de stockage, à la température ainsi qu'aux conditions de stockage. De même, une étude relative aux œufs contaminés du Canada réalisée par **Dewinter et al. (2011)**, a révélé que la distribution de la prévalence des œufs, a donné un rendement moyen de 1,7 par million des troupeaux de poules pondeuses réglementés. Ces auteurs ont estimé que 46 % des maladies de la salmonellose étaient liées aux œufs contaminés dûs aux mauvaises conditions de stockage.

L'ingestion excessive des nitrates dans l'organisme peut augmenter le risque de certains types de cancer. **Darvishmotevalli et al. (2018)** ont évalué le risque lié à la concentration du nitrate dans les eaux potables en Iran pour estimer le risque lié à l'ingestion du nitrate. Pour cela, ces auteurs ont eu recours à l'évaluation quantitative du risque. La simulation de Monte Carlo, a montré que le niveau d'exposition pour 100000 habitants était 105.

L'arsenic et les métaux lourds sont des causes de pollution de l'eau et ont un impact sur la santé humaine dans le monde entier. A Mashhad en Iran, l'étude réalisée par **Rasool et al. (2016)** a évalué le risque non cancérigène et cancérigène pour la santé. L'évaluation du risque pour la santé a été effectuée sur la base du quotient de risque (QD). Cette méthode a montré que le quotient de risque (QD) à l'arsenic et aux métaux lourds pour les adultes était inférieur à l'indice de sécurité ( $HQ < 1$ ). Cependant, les quotients de risque (QD) des enfants consommateurs de l'eau à Mashhad en Iran étaient supérieurs à la limite de sécurité. Les résultats de cette étude ont révélé que les valeurs moyennes du risque cancérigène total (RCT) par exposition à l'eau de boisson pour les enfants et les adultes étaient respectivement  $1,33 \times 10^{-4}$  et  $7,38 \times 10^{-5}$ . L'application de la méthode d'évaluation du risque a permis d'avoir des bases de données en Iran sur l'eau potable. Aussi des mesures de sécurité ont été élaborées pour assurer la sécurité des consommateurs.

En Côte d'Ivoire, afin d'améliorer la qualité des aliments, certains auteurs ont utilisé la méthode de l'évaluation des risques. Ainsi :

L'attiéké est un aliment fabriqué par fermentation lactique du manioc. C'est un aliment un aliment préparé à l'avance. L'attiké est un repas prêt à être consommé et vendu sur tout le territoire de la Côte d'Ivoire et de plus dans d'autres pays africains. Pour ces raisons, **Akmal et al. (2017)** ont évalué quantitativement les risques liés à la présence du *Clostridium perfringens* dans l'attiéké. Ces risques ont été calculés par la méthode de Monte-Carlo. Les simulations de Monte-Carlo ont révélé que, la probabilité d'ingérer une dose supérieure à  $10^9$

de bactérie variait entre 1,27 % et 2,80%. Cela signifie que pour 100 000 individus consommant de l'attiéké par jour vendu au détail, 1270 à 2800 personnes pourraient être des victimes potentielles de l'intoxication alimentaire causée par *Clostridium perfringens*.

**Dibi et al. (2017)**, par leur étude menée sur la viande braisée « *Choukouya* », ont montré, par l'approche probabiliste, que les probabilités d'ingérer le *Clostridium perfringens* à des doses supérieures à  $10^9$  variaient entre 7,36% et 7,93%. Ces auteurs ont révélé que la viande braisée "*Choukouya*" vendue dans les rues des villes de Côte d'Ivoire représente un risque réel d'infection pour le consommateur dû à la présence du *Clostridium perfringens*.

**Traore (2013)**, par ses travaux effectués sur la consommation des crabes et des crevettes vendus sur les marchés d'Abidjan et de Dabou, a révélé, grâce à une modélisation stochastique, que la probabilité journalière de l'exposition au risque de consommation de crustacés contaminés par *Vibrio* au moment de leur achat est 0,013 %.

Pour ne citer que ces auteurs, il faut noter que, les résultats de leurs travaux ont contribué à améliorer les bases de données concernant les différentes matrices alimentaires.

La plupart des études relatives à l'évaluation de la qualité de l'eau, ont été appréciées par l'outil de l'évaluation du risque. La majorité des auteurs ont abordé l'évaluation du risque par la méthode de l'approche qualitative. Selon **Soubra (2008)**, l'évaluation qualitative du risque s'appuie simplement sur l'examen de la documentation pour opérer une classification des risques (risque de niveau élevé, moyen, modéré, faible, négligeable, etc.). Aussi, les études effectuées par **Gnagne et al., (2013)**, sur la pollution urbaine et processus d'acidification des eaux de puits de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), ont montré que les puits domestiques avaient des teneurs en nitrates en excès. Ces auteurs ont souligné que les eaux des puits sont contaminées par le nitrate sans toutefois, estimer le niveau du risque auquel les populations seraient exposées en consommant ces eaux.

Au niveau microbiologique, les travaux effectués par **Yapo et al. (2010)** à Abidjan, **Ouattara et al. (2016)** à N'zianouan, **Aka et al., (2013)** à Abengourou et **Yapo et al. (2016)** à Korhogo ont évoqué la contamination des eaux souterraines par les coliformes totaux et l'*Escherichia coli*. Par l'approche de l'évaluation qualitative du risque, ces auteurs ont montré que les eaux étudiées étaient de mauvaise qualité. Le niveau d'exposition des consommateurs des eaux de ces localités n'avait pas été précisé dans leurs études.

Contrairement à ces auteurs, **Mbra et al. (2015)**, dans leurs travaux sur l'approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo, ont utilisé l'approche quantitative pour quantifier le risque sanitaire associé à

*Escherichia coli* et *Giardia lamblia*. Par le modèle bêta poisson, ces auteurs avaient estimé que le nombre probable de sujets infectés par an est de 2 002, 1 280, 59 et 24 respectivement pour la consommation d'eau de puits, le maraîchage, la pêche et la baignade.

Bien que **Mbra et al.(2015)**, aient utilisé l'évaluation quantitative du risque pour estimer le nombre probable de sujets infectés par an, il existe très peu d'études relatives à l'estimation de l'exposition des populations consommatrices de l'eau. Il est donc important d'utiliser l'évaluation probabiliste du risque pour contribuer à l'élaboration de bases de données dans le domaine de l'eau. Dans cette étude l'évaluation quantitative du risque permettra d'estimer le niveau des risques chimiques et microbiologiques liés à la consommation des eaux stockées dans les ménages, les eaux de puits et les eaux ensachées.

### **III.2.4. Etape d'évaluation do risque**

La démarche de l'évaluation du risque retenue par les organisations internationales comme le *Codex Alimentarius* et l'OIE peut être divisée en quatre étapes distinctes. Elle est composée d'une identification des dangers, d'une caractérisation des dangers, d'une évaluation de l'exposition au risque et d'une caractérisation du risque (**AFSCA, 2005**).

#### **III.2.4.1. Identification du danger**

L'identification du danger est la première étape de l'évaluation du risque, c'est une évaluation qualitative qui consiste à recueillir toutes les données (informations ou /et connaissances) sur le danger (**Barlow et al., 2002**). Dans cette première étape, il est nécessaire de connaître les dangers présents dans l'aliment et causant un effet indésirable (**Rheault, 2005**). Il s'agit généralement de déterminer la nature du danger, son origine, ses effets qualitatifs, etc. (**Traore, 2012**). Le but de cette étape est de décrire un contaminant biologique, chimique et physique qui peut être à l'origine d'un risque pour la santé du consommateur (**Crepet, 2007**).

#### **III.2.4.2. Caractérisation du danger**

La caractérisation du danger est l'appréciation qualitative et/ou quantitative de la nature des effets néfastes pour la santé, provoqués par les contaminants biologiques, chimiques ou physiques de l'aliment ou de l'environnement. Lorsque les données sont disponibles, la relation dose-effet doit être établie (**Sanaa et Cerf, 2002**). La relation dose-effet 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) (**Kouame, 2013**). La caractérisation des dangers est donc liée à l'examen de

la relation dose-réponse. On détermine la relation dose-réponse en rassemblant pour un danger donné, des informations sur les effets négatifs sur la santé d'une exposition à différentes doses (**Tanouayi et al., 2015**).

#### **III.2.4.3. Evaluation de l'exposition**

L'évaluation de l'exposition consiste à quantifier le niveau de contamination physique, chimiques et biologique ou des toxines sécrétées par des microorganismes. Cette exposition se traduit en terme d'ampleur, de durée et de fréquence (**AFSCA, 2005**). L'élaboration de l'approche pour l'évaluation de l'exposition est basée sur deux processus distincts. Le premier, purement scientifique est relatif à la prévalence du danger dans l'aliment. Le second est basé sur la collecte des informations relatives aux principaux paramètres (**Lebres, 2006**). Ces paramètres sont :

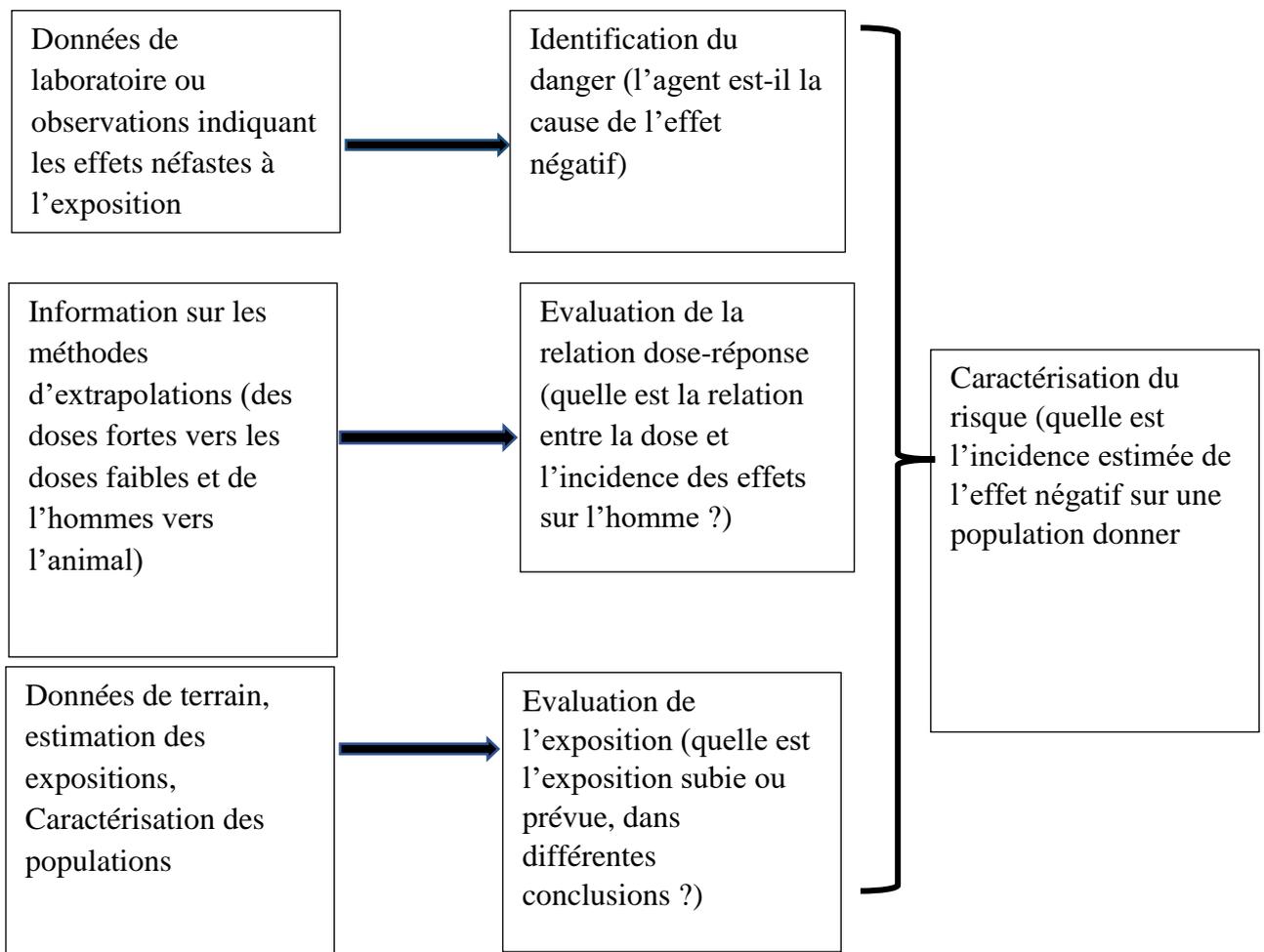
- le mode de consommation de l'aliment considéré ;
- la durée de stockage de l'aliment ;
- l'estimation de la fréquence ;
- les portions des aliments ingérés en fonction de la population susceptible et non susceptible ;
- le sexe des consommateurs ;
- l'âge des consommateurs.

L'évaluation de l'exposition correspond à l'évaluation quantitative de la dose probable ingérée de contaminants alimentaires, c'est-à-dire qu'elle correspond à la concentration du contaminant dans l'aliment multiplié par la quantité d'aliment consommée par prise ou par jour (exposition aiguë) ou sur la vie (exposition chronique) (**Crépet et Tressou, 2011**). L'exposition peut se mesurer directement à l'aide de biomarqueurs, comme par exemple en mesurant chez l'homme les concentrations des composés recherchés ou de leurs métabolites (**Egeghy et al., 2011**) dans les fluides corporels (sang, urine, lait maternel). A défaut d'être directement déterminée à l'aide de bio-marqueurs, celle-ci est évaluée de façon indirecte à partir d'enquêtes de consommations alimentaires individuelles et de données sur la présence et niveaux des résidus dans les aliments (**Graillet, 2012**).

#### **III.2.4.4. Caractérisation du risque**

La caractérisation du risque est une estimation qualitative et/ou quantitative, incluant les incertitudes qui lui sont associées. Ces incertitudes sont la probabilité et de la gravité des effets néfastes sur la santé, connus ou potentiels, d'une population donnée, sur l'intégration de toutes les données obtenues lors des étapes précédentes (**Tanouayi et al., 2015**). La

caractérisation du risque doit englober tous les facteurs qui peuvent avoir un effet sur le risque et indiquer le degré de fiabilité de l'estimation du risque. Cependant il faut noter que la probabilité avec laquelle un danger se présente ne peut jamais être zéro (Traoré, 2013). Il faudra toujours accepter un certain niveau de risque et cette acceptation dépendra fortement de l'effet induit sur la santé de l'homme, de la perception des risques, des aspects culturels, des aspects sociaux et des problèmes économiques qui y sont liés (AFSCA, 2005). La figure 1 indique le schéma général de l'évaluation du risque selon le modèle de la National Academy Science.



**Figure 1:** Schéma général de l'évaluation du risque sanitaire : le modèle de la National Academy of Sciences (1983)

### **III.3. Gestion du risque**

La gestion du risque est définie comme étant un processus, consistant à mettre en balance les différentes politiques possibles en consultation avec l'ensemble des parties intéressées (Coulibaly, 2015). La gestion du risque tient compte de l'évaluation du risque et d'autres facteurs pertinents pour la protection de la santé des consommateurs et la promotion de pratiques commerciales loyales et, au besoin, à choisir les mesures de prévention et de contrôle approprié (FAO/OMS, 2007).

### **III.4. Communication sur le risque**

La communication sur le risque est l'élément le plus récent de l'analyse du risque (FAO/OMS, 2007). Il est né du besoin d'impliquer toutes les parties intéressées dans le processus d'analyse du risque et d'échanger les informations relatives à l'évaluation et à la gestion du risque (Traoré, 2013). Selon le *codex Alimentarius*, la communication du risque est définie comme la démarche interactive d'échange d'informations relatives au risque entre les personnes chargées d'apprécier le risque, celles chargées de le gérer et toutes les autres parties intéressées.

### **III.5. "Bootstrap"**

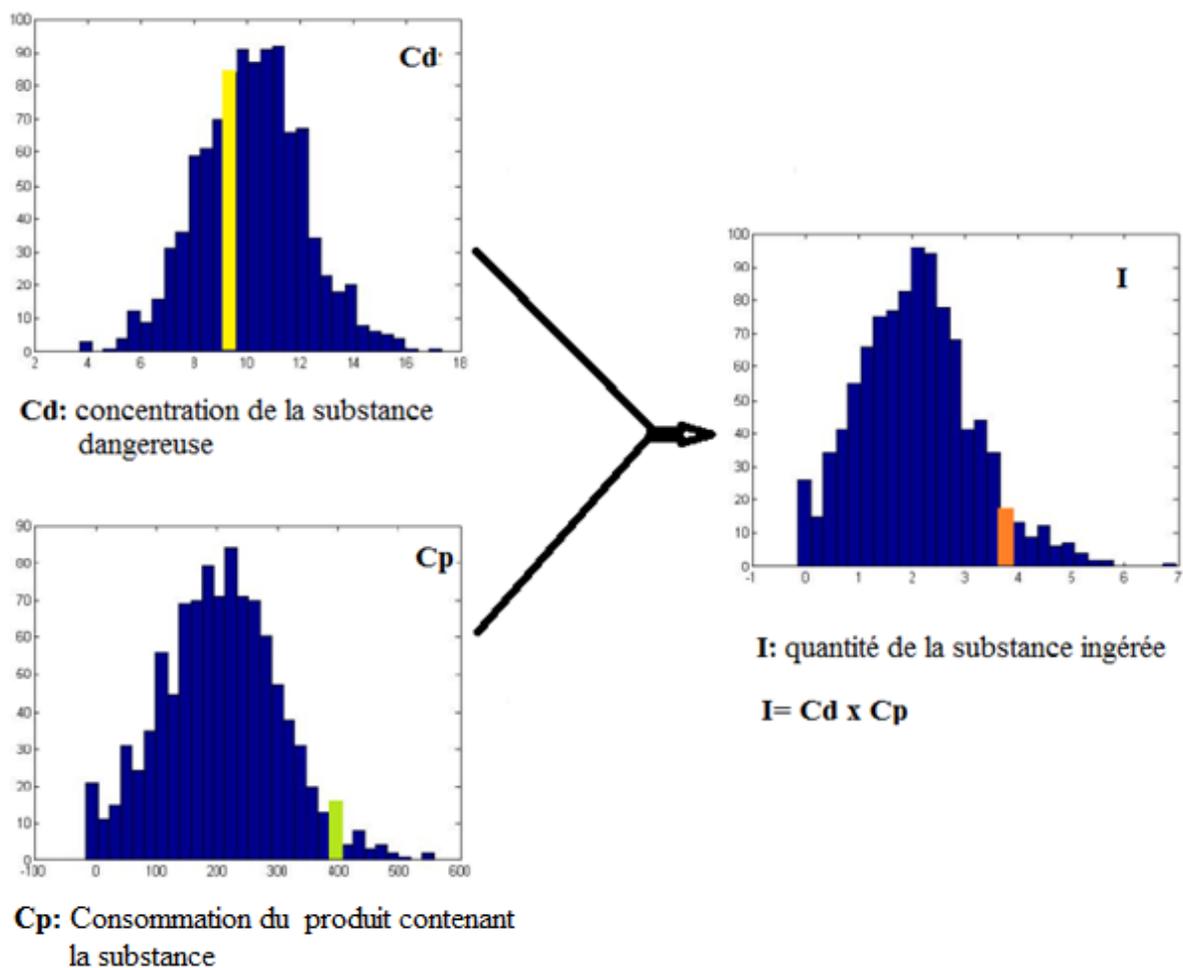
Le terme Bootstrap ou rééchantillonnage (resampling en anglais) est une application inspirée de Baron Munchhausen (Rudolph Erich Raspe). Ce terme désigne un ensemble de méthodes qui consiste à faire de l'inférence statistique sur de nouveaux échantillons tirés à partir d'un échantillon initial (Huber, 2006). C'est Efron (1979) qui fut le premier à mettre en valeur cette méthode connue depuis longtemps mais non exploitée, notamment à cause du temps de calcul qu'elle implique (Efron, 1979; Horowitz, 2001).

Disposant d'un échantillon destiné à donner une certaine information sur une population, un nouvel échantillon de même taille  $n$  est obtenu suite à un tirage au sort effectué parmi la sous-population réduite à cet échantillon. Cette opération est répétée  $B$  fois, où  $B$  est grand (5000 itérations). Ensuite les nouvelles observations ainsi obtenues sont analysées pour affiner l'inférence faite sur les observations initiales. Ce rééchantillonnage, s'il n'ajoute aucune information (toute l'information étant contenue dans l'échantillon initial), permet, d'extraire de l'échantillon de base l'information souhaitée.

### III.6. Monte Carlo

En mathématiques, on appelle méthode de Monte Carlo toute méthode visant à calculer une valeur numérique en utilisant des procédés aléatoires, c'est-à-dire des techniques probabilistes (**Rubino et al., 2007 ;Peyre, 2011**). Le nom de cette méthode fait allusion aux jeux de hasard pratiqués à Monte Carlo (ville de Monaco). Cette méthode a été inventée en 1947 par Métropolis, inspirée de l'intérêt de son collaborateur Ulman pour le poker (**Peyre, 2011; Baranger et al., 2012**).

Cette méthode probabiliste nécessite des distributions de probabilités pour représenter soit la variabilité, soit l'incertitude sur un paramètre. Lorsque le modèle sur chaque variable (ou paramètre) est construit, il est possible d'obtenir des distributions de probabilité des variables en utilisant les stimulations de types Monte Carlo comme l'indique la **figure 2 (Assidjo et al., 2013)**. Ainsi, à partir des distributions d'entrée, c'est-à-dire la distribution de Cd (concentration du danger), Cp (consommation du produit en terme de quantité) on obtient la distribution de l'ingestion probable du danger (I) (**Figure 2**).



**Figure 2:** Produit de deux distributions avec les simulations de type Monte Carlo (Assidjo et al., 2013).

### Conclusion partielle

Cette partie nous a permis de faire une synthèse sur les concepts de l'évaluation du risque ainsi que les différentes étapes de l'évaluation du risque. Elle a révélé que l'évaluation du risque est un outil de prise de décision qui est utilisé dans plusieurs domaines scientifiques et facilite le commerce international. Dans ce chapitre, la différence entre l'évaluation quantitative et qualitative du risque a été mise en exergue. Elle nous a permis de savoir que l'évaluation quantitative du risque est plus utilisée dans les pays en développement que dans les pays en voie de développement.

A decorative border resembling a scroll, with a thick black line forming the main frame and rounded, scroll-like ends at the top and bottom corners.

**PARTIE II :**  
**APPROCHE**  
**METHODOLOGIQUE**

---

## CHAPITRE I : METHODE D'ENQUETE ET D'ECHANTILLONNAGE

---

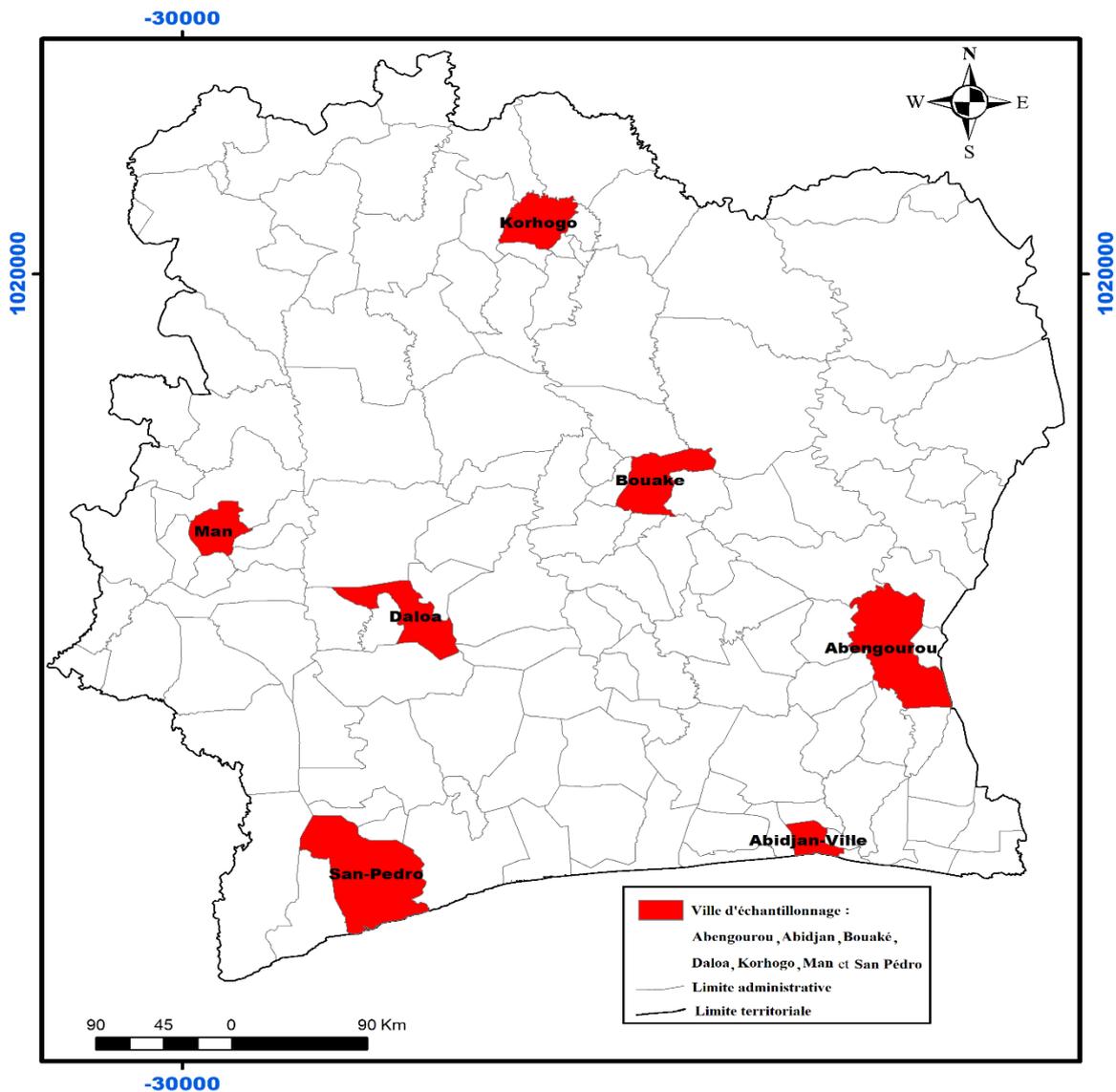
### **Introduction**

Plusieurs facteurs contribuent à la dégradation de la qualité de l'eau. Pour mieux appréhender ces facteurs de dégradation, il serait donc nécessaire d'effectuer une enquête et une observation auprès de la population. Ce chapitre mettra en exergue la méthodologie d'enquête, la détermination de la taille de la population investiguée et la méthodologie d'échantillonnage des différents types de consommation. Nous justifierons le choix des différentes villes sélectionnées pour cette étude.

### **I.1. Méthode d'enquête et d'échantillonnage**

#### **I.1.1. Choix des zones d'étude**

L'évaluation des risques liés à l'eau de boisson abordée dans cette étude porte sur les principales eaux de boisson en Côte d'Ivoire. Sept villes ont été choisies dans les principales régions : Abidjan (Sud), Abengourou (Sud -Est), Bouaké (Centre), Korhogo (Nord), Daloa (Centre -Ouest), Man (Ouest) et San-Pedro (Sud-Ouest). Ces villes sélectionnées représentent les principales agglomérations des grandes régions de la Côte d'Ivoire. Elles ont été choisies du fait de leur forte démographie. Toutes ces localités sont matérialisées sur la carte de la **Figure 3**.



**Figure 3 : Zones d'étude de 7 localités de la Côte d'Ivoire**

### **I.1.2. Enquête**

Afin de recueillir des informations sur les sources d'approvisionnement en eau, les facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau, de connaître la quantité d'eau ingérée par personne par jour, la fréquence des maladies hydriques dans ces régions, une enquête a été menée dans les villes retenues pour l'étude. A cet effet un questionnaire semi-directif a été élaboré et basé sur une analyse qualitative auprès de la population. La période d'enquête s'est étendue du 22 décembre 2017 au 28 Août 2018.

### I.1.3. Taille de la population à enquêter

Pour déterminer le nombre de personnes ayant participé à l'enquête, la technique de l'échantillonnage de **Giezendanner (2012)** a été utilisée avec l'expression statistique de formule suivante.

$$n = \frac{t^2 \times [P \times (1-P)]}{e^2} \quad \text{Équation (1)}$$

n : la taille minimum des personnes à enquêter ; e : la marge d'erreur ; t : le coefficient de marge déduit du taux de confiance ; p : la proportion des éléments de la population-mère qui présente une propriété donnée.

Ainsi, la valeur conventionnelle de chaque élément de cette fraction se présente comme suit :

t = 1,96 ; p = 0,5 et e = 0,05.

La taille minimum de personne à enquêter, en utilisant l'équation 1 est donc de 384,16. Le nombre d'individus à interviewer dans chaque ville étaient proportionnel à la population de chaque ville. Dans le cas de cette étude, la taille des personnes à interroger a été extrapolée à 600.

**Tableau V:** Répartition de la population à enquêter par ville

Villes	Population	Taille d'échantillon
Korhogo	243 048	25
Bouaké	536 719	55
Daloa	245 260	26
Man	148 945	15
Abengourou	100 910	11
San- pedro	164 994	17
Abidjan	4 395 243	452
Total	5835119	600

#### **I.1.4. Echantillonnage de l'eau**

##### **I.1.4.1. Traitement du matériel d'échantillonnage**

Avant la campagne d'échantillonnage le matériel étiqueté a été soigneusement lavé, rincé avec de l'eau distillée (échantillon d'eau destinée à l'analyse des minéraux acidifié avec de l'acide sulfurique concentré à 98% pour obtenir un  $\text{pH} < 2$ ).

Concernant l'analyse microbiologique, avant la campagne d'échantillonnage, le matériel de prélèvement d'échantillon d'eau a été lavé et stérilisé au four pasteur (MEMMERT, Allemagne) pour éliminer la contamination initiale.

##### **I.1.4.2. Méthode d'échantillonnage**

Pour cette étude deux campagnes d'échantillonnages des eaux dans chacune des localités sélectionnées ont été nécessaires. Au cours de ces campagnes, des échantillons (eau de robinet, eau de puits, eau stockée dans les ménages et eau conditionnée en sachet) ont été collectés.

Pour l'analyse des paramètres physico-chimiques, les échantillons d'eau ont été prélevés dans des flacons en polyéthylène d'une capacité de 1 L. Pour un échantillon, deux flacons ont été

utilisés, un flacon a été destiné à l'analyse des métaux (arsenic, cadmium et plomb) et un autre pour les autres paramètres (nitrate, fer et fluor).

Concernant les échantillons destinés à l'analyse microbiologique, les échantillons d'eau ont été conditionnés dans des bouteilles stérilisées de capacité 500 mL. Un chalumeau est resté allumé pour maintenir la condition de flamme qui empêche la contamination des échantillons d'eau par des germes environnementaux au moment du prélèvement et des fermetures des flacons.

Quant aux échantillons d'eau conditionnée en sachet, l'échantillonnage a concerné les eaux conditionnées en sachet de façon artisanale et celles conditionnées en sachet de façon industrielle. Les eaux conditionnées de toute marque vendues dans les villes sélectionnées ont été échantillonnées par achat. Les échantillons d'eau ont été obtenus dans les gares de transport, des boutiques et des marchés des différentes villes sélectionnées. Les paramètres tels que la turbidité, le pH, la température, la conductivité et le chlore résiduel ont été mesurés *in situ*. Pour les autres sachets destinés aux analyses de laboratoire, les eaux sont restées conditionnées dans les sachets.

Après l'échantillonnage, l'ensemble des échantillons d'eau a été aussitôt mis dans deux glacières, dont une pour les échantillons d'analyses physico-chimiques et l'autre pour les échantillons d'analyses microbiologiques contenant des réfrigérants à 4 °C. Au total 240 échantillons pour chaque type d'eau par ville (en raison de 30 échantillons à Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, Abengourou, San-Pedro et 60 échantillons à Abidjan) ont été collectés **(Tableau VI)**.

**Tableau VI:** Taille d'échantillon d'eau prélevée dans les villes investiguées

Ville d'échantillonnage	Eau échantillonnée				
	ER	ES	EP	ESA	ESI
<b>Korhogo</b>	30	30	30	30	30
<b>Bouaké</b>	30	30	30	30	30
<b>Daloa</b>	30	30	30	30	30
<b>Man</b>	30	30	30	30	30
<b>Abengourou</b>	30	30	30	30	30
<b>San- Pedro</b>	30	30	30	30	30
<b>Abidjan</b>	60	60	60	60	60
<b>Total</b>	240	240	240	240	240

### **Conclusion partielle**

Cette approche méthodologique a permis d'identifier les facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau par la population des différentes villes de notre étude. Elle a également permis de déterminer la taille de la population investiguée ainsi que la taille d'échantillon d'eau collectée dans chaque ville.

---

## CHAPITRE II : ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES ET MICROBIOLOGIQUES

---

### Introduction

La qualité de l'eau est l'un des éléments, aujourd'hui le plus surveillé dans le monde car elle conditionne la santé du consommateur. Pour avoir des informations sur la qualité des eaux consommées, il convient d'effectuer des analyses physico-chimiques et microbiologiques. C'est pourquoi ce présent chapitre décrira les différentes méthodologies d'analyse physico-chimique et microbiologique qui permettront d'apprécier la qualité des eaux collectées. La méthodologie développée dans cette partie vise à quantifier les paramètres tels que le nitrate, le fluor, le fer, l'arsenic, le cadmium, le plomb, les coliformes totaux, *Escherichia coli* et la *salmonella spp.*

### II.1. Analyses physico-chimiques

La qualité physico-chimique des échantillons d'eau a été déterminée à partir des paramètres ci-après : pH, température, turbidité, conductivité, chlore résiduel, nitrate, fluorure, fer, arsenic, plomb et cadmium. Les méthodes d'analyse des paramètres physico-chimiques utilisées sont indiquées dans le **tableau VII**.

**Tableau VII:** Synthèse des méthodes et normes d'analyse des paramètres physico-chimiques

Paramètres	Méthodes d'analyse	Normes
Température	Méthode électrochimique à la sonde	NFT 90-100
pH	Méthode électrochimique à la sonde	NF T90-008
Turbidité	Méthodes quantitatives à l'aide de turbidimètres	NF EN ISO 7027-1
Conductivité électrique	Méthode électrochimique à la sonde	NF EN 27888
Fer	Méthode spectrométrique à la phénantroline	NF T 90-017
Fluor	Méthode spectrophotométrique et potentiométrique	NF T90-004
Chlore	Méthode colorimétrique	Iso 7393-2 :2017
Nitrates	Méthode par spectrométrie d'absorption moléculaire	NM 03.07.014
Oxygène dissous	Méthode électrochimique à la sonde	NF EN 25814
Permanganate de potassium	Méthode à chaud en milieu acide	NF EN ISO 8467
Arsenic	Spectrométrie de masse haute résolution par plasma à couplage inductif (ICP-MS)	NF EN ISO 11885
Plomb	Spectrométrie de masse haute résolution par plasma à couplage inductif (ICP-MS)	NF EN ISO 11885
Cadmium	Spectrométrie de masse haute résolution par plasma à couplage inductif (ICP-MS)	NF EN ISO 11885

## II.2. Analyses microbiologiques

La qualité microbiologique a été appréciée à travers les germes aérobies mésophiles (GAM), les coliformes totaux, les *Escherichia coli* et la *Salmonella spp.* Les méthodes d'analyse utilisées sont indiquées dans le **tableau VIII**.

**Tableau VIII:** Synthèse des méthodes et normes d'analyse des paramètres microbiologiques

Bactéries	Unités	Normes
Germes aérobies mésophiles	UFC/100 mL	ISO 6222 : 1999
Coliformes totaux	UFC/100 mL	ISO.9308-1 : 2014
Escherichia coli	UFC/100 mL	ISO.9308-1 : 2014
<i>Salmonella</i>	UFC/ mL	Iso-19250 : 2010

## II.3. Calculs du dénombrement des germes

Les calculs du dénombrement des germes ont été effectués selon la norme **NFEN ISO-7218 : (2007)** qui détermine le nombre N de colonies selon la formule.

$$N = \frac{\sum C_i}{V (n_1 + 0,1n_2) d} \text{ Equation (2)}$$

**N** : nombre de microorganismes en UFC/mL

**n<sub>1</sub>**: nombre de boîtes comptées à la dilution retenues la plus faible,

**n<sub>2</sub>**: nombre de boîtes comptées à la seconde dilution retenue,

**d**: facteur de dilution à partir duquel les premiers comptages sont réalisés,

**V** : volume de la prise d'essai inoculée en mL,

**C<sub>i</sub>** : nombre de colonies aperçues à la surface de la gélos

### **Conclusion partielle**

Dans cette partie, l'approche méthodologique développée a permis de connaître les teneurs des substances toxiques, les paramètres indésirables, et les paramètres microbiologiques des eaux collectées dans les villes sélectionnées .

---

## CHAPITRE III : EVALUATION DES RISQUES SANITAIRES

---

### Introduction

Après avoir quantifié les paramètres physico- chimiques et microbiologiques, il convient de calculer le risque lié à l'exposition aux dangers de l'eau. Ce chapitre décrira les étapes de l'évaluation des risques. Les risques liés à l'exposition aux dangers seront décrits suivant la méthodologie du codex alimentarius. C'est à dire l'étape de l'identification, la caractérisation, l'évaluation de l'exposition et la caractérisation du danger. L'étape de l'évaluation de l'exposition consistera à établir des scénarios de l'ingestion de l'eau jusqu' à la survenue de la maladie. De ce scénario nous établirons une équation en tenant compte des facteurs du risque tels que les concentrations des dangers obtenues lors des analyses (C), la quantité d'eau consommée (Q), la fréquence de consommation (F). La méthode de Monte Carlo nous permettra d'établir des courbes de distributions. Par la suite la projection de la dose journalière (DJA) sur ces courbes de distribution permettra de calculer le risque (R) lié à l'exposition à ces dangers.

#### III.3.1. Identification et caractérisation des danger

Le cadmium, le plomb et l'arsenic sont des éléments traces métalliques les plus toxiques pour l'homme. Leur présence a été signalée dans les eaux par plusieurs études menées en Côte d'Ivoire. Il a été donc jugé utile d'étudier ces éléments traces métalliques au plan qualitatif et quantitatif sur les eaux consommées en Côte d'Ivoire.

Le nitrate élément indésirable dans l'eau, a été également étudié car à de fortes doses, il provoque des maladies.

Plusieurs études ont également fait cas de la présence des *Escherichia coli* dans les eaux de consommation. Bien que la plupart des *Escherichia coli* ne soient pas pathogènes pour l'homme, le genre O157 est pathogène pour l'homme. Il a été impératif pour nous d'étudier le genre O157 H7 pour évaluer le risque qu'il présente pour le consommateur de l'eau contaminée par ce germe.

Les différents dangers de l'eau identifiés dans le cas de cette étude sont présentés dans le **tableau IX**.

**Tableau IX:** Identification et caractérisation des dangers

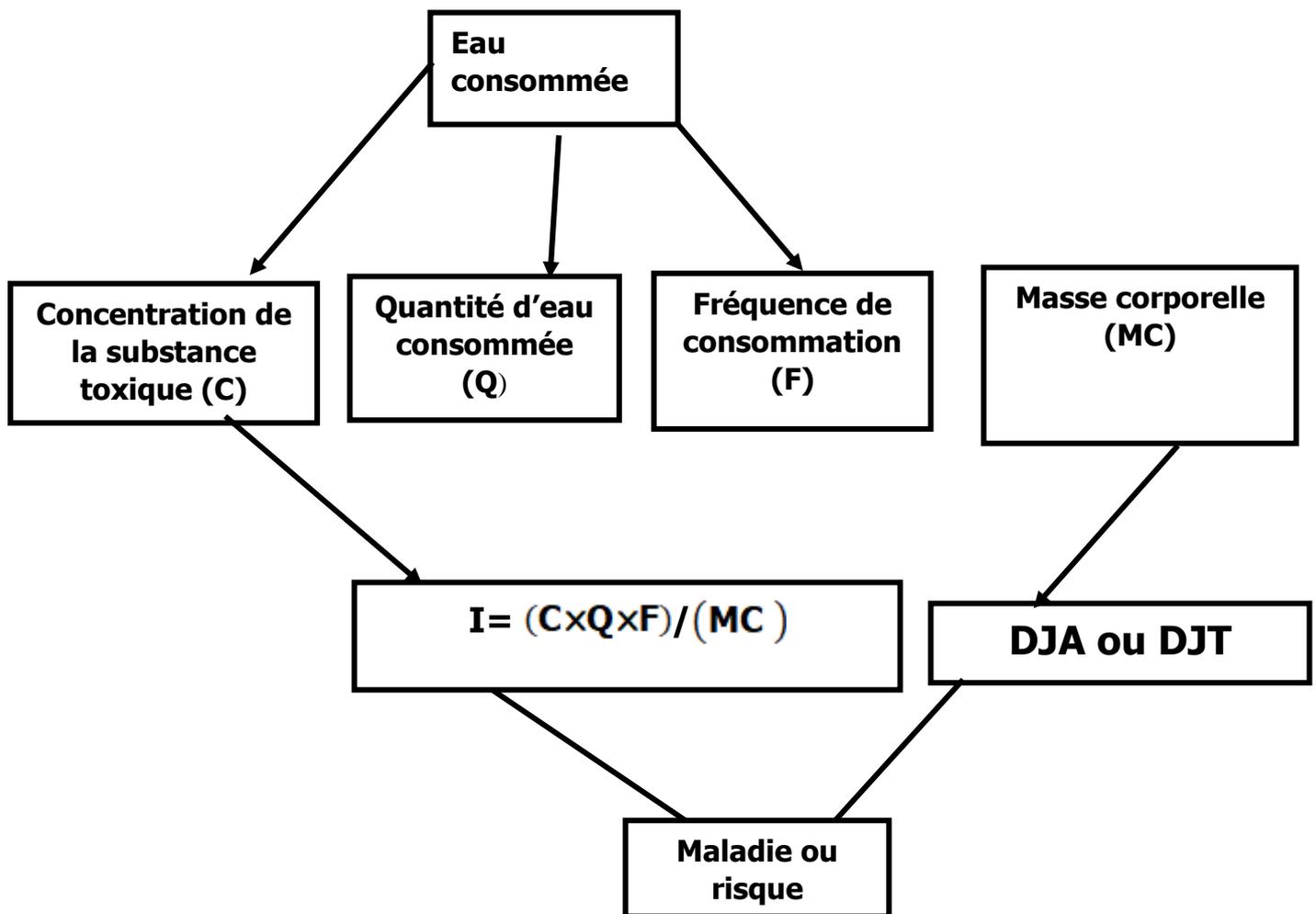
Identification du danger	Caractérisation du danger		
	Source	Dose infectieuse ou dose journalière admissible/tolérance (DJA ou DJT)	Maladies
<b>Nitrate</b>	Environnement, oxydation de l'azote par les microorganismes ( <b>Gao et al., 2012</b> )	3,65 mg/kg/j	Méthémoglobinémie cancer ( <b>Darvishmotevalli et al., 2013</b> )
<b>Arsenic</b>	Précipitations, érosion vieillessement des sols et activités anthropiques	$3 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j	Hyperpigmentation de la peau, avortements spontanés, de morts fœtales tardives ( <b>US EPA, 2006</b> ).
<b>Cadmium</b>	Roches sédimentaires, fabrication des pigments, la stabilisation des plastiques)	$2 \cdot 10^{-4}$ mg/kg/j	Insuffisance rénale, ostéoporose et ostéomalacie ( <b>ATSDR, 2007</b> )
<b>Plomb</b>	Croûte terrestre, activité anthropique (tuyauterie, peinture)	$3,6 \cdot 10^{-3}$ mg/kg/j	Saturnisme (anémie, baisse du quotient intellectuel et des troubles du développement neurologique)
<b><i>Escherichia coli</i></b>	Intestin des hommes et des animaux ( <b>Adjahouinou et al., 2014</b> )	$10^8$ microorganismes	Diarrhées, douleurs abdominales ( <b>Gouali, 2013</b> )
<b><i>Salmonella spp</i></b>	Contamination fécale (eaux usées, du bétail ou des animaux sauvages)	$10^1$ et $10^{11}$	Fièvre typhoïde et la salmonellose non typhique

### III.2. Estimation de l'exposition chimique

Dans le cadre cette étude le scénario est le suivant : l'eau prélevée dans un récipient ou l'eau ensachée achetée par le consommateur est directement consommée. L'évaluation de l'exposition a consisté à déterminer, la quantité (Q) d'eau consommée par jour, la substance

chimique toxique (mg/L) ingérée par un individu par jour et la fréquence de consommation (F). Dans la pratique, la quantification des niveaux d'exposition a été obtenue en multipliant simplement la concentration du nitrate ou des métaux (arsenic et plomb)  $C$  (mg/L) obtenue dans l'eau par la quantité ( $Q$ ) d'eau consommée par la fréquence (F) sur le poids de l'individu en utilisant les simulations de type Monte Carlo. Le scénario de l'exposition chimique est représenté par la **Figure 4**.

Le scénario a permis de déterminer l'ingestion probable du danger nommé « I »,



**Figure 4:** Schéma général simplifié de la modélisation de la survenue de la maladie

Les distributions des différentes variables (C, Q, F et MC) ont permis d'estimer l'exposition à partir de l'équation suivante :

$$I = C \cdot Q \cdot \frac{F}{MC} \quad (\text{mg/kg/j}) \quad \text{Equation (3) (nitrate)}$$

$$I = \sum C \cdot Q \cdot \frac{F}{MC} \quad (\text{mg/kg/j}) \quad \text{Equation (4)} \quad (\text{arsenic, plomb et cadmium})$$

Les données obtenues des différentes variables C, Q, F et MC peuvent être source d'incertitudes comme par exemple une surestimation ou une sous-estimation ou encore la non représentativité des données. Ainsi, les informations apportées par ces différentes données (C, Q, F et MC) ont été intégrées dans un modèle utilisant une approche probabiliste sous la forme de distributions probables de variables du modèle.

L'ajustement de l'incertitude a été effectué à partir du modèle de distribution des variabilités faisant recours à Monte Carlo .

Cette méthode consiste à effectuer des itérations à partir des valeurs des variables C, Q, F et MC. Au total, 1500 itérations ont été effectuées dans cette étude.

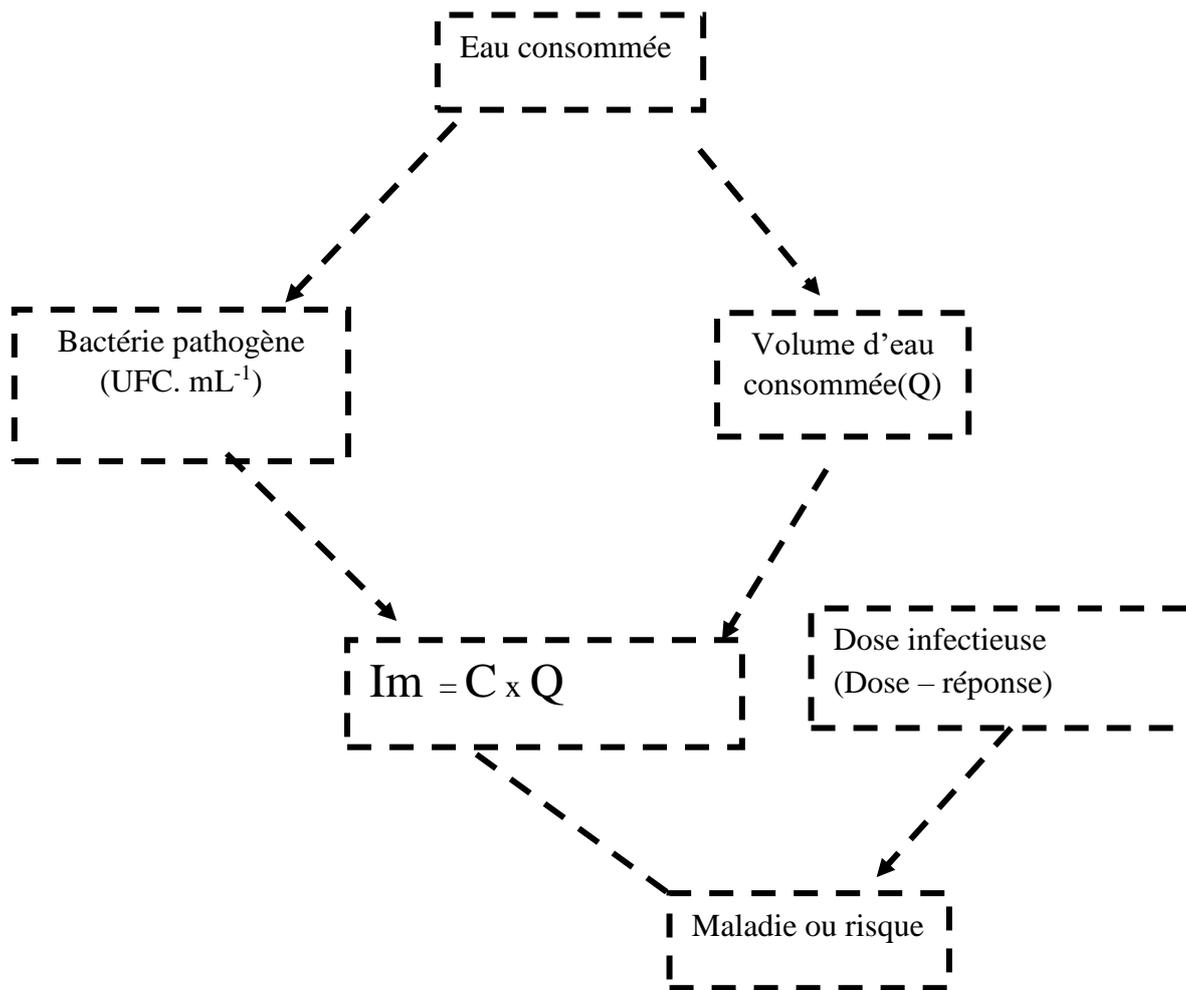
Le risque de maladie, nommé (**R1**) a été défini comme étant la probabilité d'ingérer de la substance chimique supérieure à la dose journalière admissible (DJA).

$$\mathbf{R1 = 1 - P1 \quad Equation (5)}$$

La probabilité « **P1** » s'obtient par la projection de la DJA de la substance chimique sur la fonction des densités cumulées décrite par les différentes itérations. **R1** « **Risque** »: proportions de la population probable pouvant être malade suite à la consommation de l'eau.

### **III.2. Evaluation de l'exposition microbiologique**

L'évaluation de l'exposition microbiologique a consisté à déterminer, pour chaque volume d'eau (Q) consommé le nombre de bactérie pathogène (UFCmL<sup>-1</sup>) ingérée (I) par un individu. Dans la pratique, le niveau d'exposition a été obtenu en multipliant simplement le volume d'eau consommé (Q) par la concentration de la bactérie pathogène (UFC.mL<sup>-1</sup>) obtenue dans l'eau en utilisant les simulations de type Monte Carlo. Le scénario de l'exposition microbiologique est représenté par la **figure 5**. En somme l'estimation de l'exposition microbiologique, fait intervenir d'une part la concentration de la bactérie pathogène et d'autre part le volume d'eau ingéré par individu par prise. Les étapes du scénario sont illustrées par la **figure 5**.



**Figure 5:** Schéma général simplifié de la modélisation de la survenue du risque microbiologique .

Les distributions des variables (C et Q) ont permis d'estimer l'exposition à partir de l'équation suivante : les concentrations de la bactérie pathogène « **UFC. mL<sup>-1</sup>**»

- le volume d'eau ingéré par individu par prise « **Q** »

$$I_m = C \cdot Q \text{ (UFC) (6)}$$

$I_m$  : dose microbiologique ingérée (UFC)

Les données obtenues des variables C et Q peuvent être source d'incertitudes comme par exemple une surestimation ou une sous-estimation du volume d'eau ingérée par individu ou encore la non représentativité des données. Ainsi, les informations apportées par les différentes données (C et Q) sont intégrées dans un modèle utilisant une approche probabiliste sous la forme de distributions probables de variables. L'ajustement de l'incertitude a été effectué à partir du modèle de distribution des variabilités faisant recours à la méthode Monte Carlo.

Cette méthode consiste à effectuer des itérations à partir des valeurs des variables C et Q. Au total, 1500 itérations ont été effectuées dans cette étude. Le risque microbien (**R2**) de maladie a été défini comme étant la probabilité d'ingérer le microorganisme pathogène supérieur à la dose infectieuse. Cette probabilité nommée «**R2** » se calcul comme suite :

$$R_2 = 1 - P_2 \text{ équation (7)}$$

Cette probabilité « **P2** » s'obtient par la projection de la dose infectieuse sur la fonction des densités cumulées décrite par les différentes itérations. **R2** « **Risque** »: proportions de la population probable pouvant être malade suite à la consommation de l'eau.

### III.3. Détermination de la durée de stockage de l'eau dans les ménages

La détermination de la durée adéquate de stockage de l'eau a consisté d'abord à sélectionner des ménages. Cinq ménages de la ville de Bouaké stockant de l'eau sur une durée allant d'un à sept jours ont été sélectionnés avec l'accord des chefs des ménages. Ces ménages ont été numérotés A, B, C, D et E. Le numéro de chaque ménage a été directement attribué au matériel de stockage utilisé dans ces ménages (**voir annexe 2**). Les récipients avaient au moins une capacité de 10 litres d'eau. Le suivi des paramètres physico- chimiques et microbiologiques a été effectué sur une durée de sept jours (jour 0, jour 1, jour 2, jour 3, jour

4, jour 5, jour 6, jour 7). L'analyse a concerné des paramètres tels que le chlore résiduel, la température, le pH, la turbidité, l'indice de permanganate, l'oxygène dissous, les germes aérobies mésophiles, les coliformes totaux et *Escherichia Coli*.

#### **III.4. Analyse statistique des données**

Les données recueillies ont été analysées à partir des histogrammes obtenus sur la base des valeurs moyennes et des écarts types de celles-ci en utilisant l'utilitaire d'analyse Excel 2013. Le logiciel Matlab R2012 a été utilisé, d'une part, pour le traitement des variables à partir de la méthode Bootstrap, et d'autre part, pour la réalisation des différentes simulations numériques de type Monte Carlo.

#### **Conclusion partielle**

L'application de l'évaluation du risque a permis d'identifier les dangers de l'eau afin d'estimer le niveau d'exposition du consommateur. La mise en place d'un scénario, nous a permis d'établir une équation. A partir de cette équation, la méthode de Monte Carlo a généré des courbes de distributions. La projection de la DJA sur les courbes de distributions a permis de calculer les risques auxquels les consommateurs sont exposés.



**PARTIE III :  
RESULTATS ET  
DISCUSSION**

---

## CHAPITRE I : ENQUETE SOCIO-DEMOGRAPHIQUE

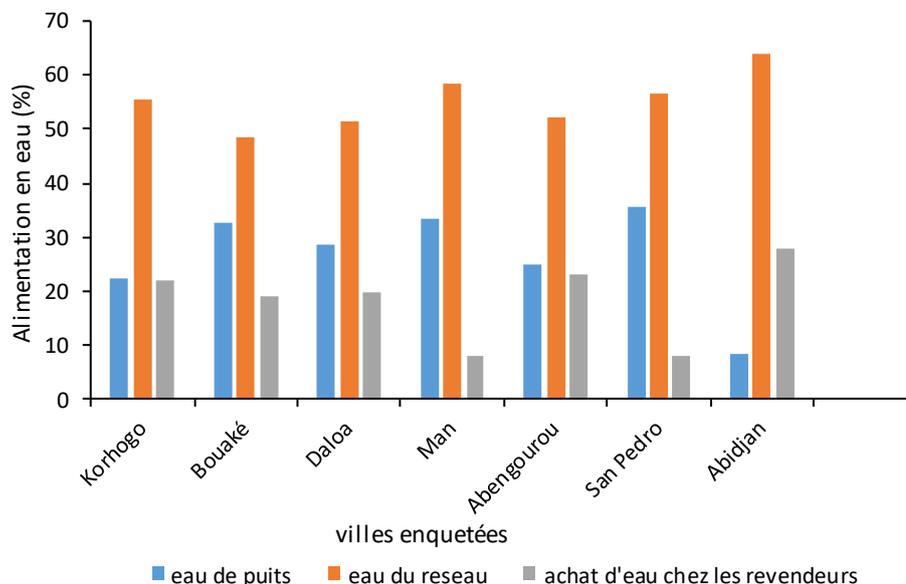
---

### Introduction

Cette première partie des résultats présente les interprétations relatives aux informations recueillies auprès de la population lors des enquêtes. Elle présente également les sources d'alimentation en eau dans les ménages, les facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau, la quantité d'eau consommée par personne par jour et les maladies hydriques.

#### I.1. Enquête sociodémographique

La **Figure 6** présente les données relatives aux sources d'alimentation en eau dans les ménages. Elle révèle que les populations s'approvisionnent en eau dans les ménages à partir des puits et du réseau de distribution public. À cet effet, l'alimentation urbaine en eau de puits occupe 8,25% à Abidjan et 35,5% à San-Pedro. Aussi, 73,47% des populations enquêtées sont alimentées en eau à partir du réseau public dont 55,27 % disposent des robinets dans les ménages et 18, 2% achètent l'eau du réseau public chez les revendeurs.



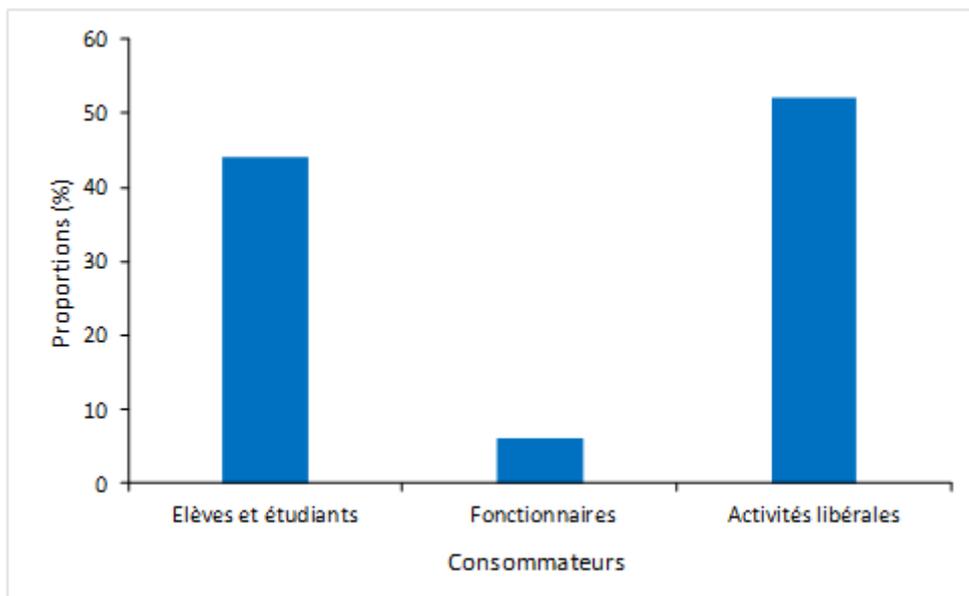
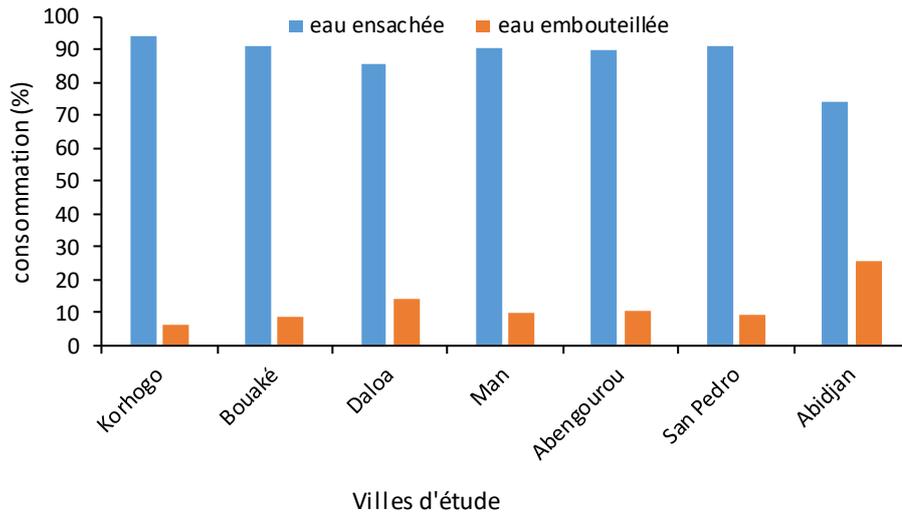
**Figure 6:** Source d'approvisionnement en eau dans les ménages

## **Interprétation**

Les résultats de ces enquêtes ont révélé que 73,47 % des ménages sont fournis en eau par le réseau public de la Côte d'Ivoire. 55,27 % ont un abornement du réseau public des robinets dans les ménages et 18,2 % achètent l'eau du réseau public chez des revendeurs. Aussi, 26,53 % des ménages enquêtés ont recours aux eaux de puits. Le recours à d'autres types d'approvisionnement en eau serait dû aux infrastructures des services d'alimentation en eau potable qui sont en inadéquation avec la croissance démographique due à l'urbanisation anarchique (OMS et UNICEF, 2017 ; Awomon et al., 2019). L'utilisation de l'eau de puits et l'achat de l'eau chez les revendeurs ont été évoqués par Coulibaly et al. (2017) et Awomon et al. (2018) respectivement à Abidjan (Port-Bouët) et à Daloa. Ceux-ci indiquaient que des ménages avaient accès à l'eau de consommation par le biais des revendeurs d'eau du réseau public et le recours aux puits.

### **I.2. Consommation de l'eau conditionnée**

Les données relatives à la consommation des eaux conditionnées en bouteille ou en sachet sont présentées par la **Figure 7**. Il ressort de ces résultats, que le taux de consommation de l'eau en sachet des zones d'études varie de 74,23% (Abidjan) à 94,1% (Korhogo). Le taux de consommation des eaux conditionnées en bouteille est compris entre 5,9 % (Korhogo) et 25,78 % (Abidjan). Au total 12,01 % des individus enquêtés consomment de l'eau embouteillée et 87,99 % consomment de l'eau en sachet. Il apparaît que la population exerçant des activités libérales, les élèves, les étudiants et les fonctionnaires consomment de l'eau ensachée à des proportions respectivement de 52%, 44% et 4 % (**Figure 7**).



**Figure 7:** Consommation de l'eau en sachet en fonction des activités

### Interprétation

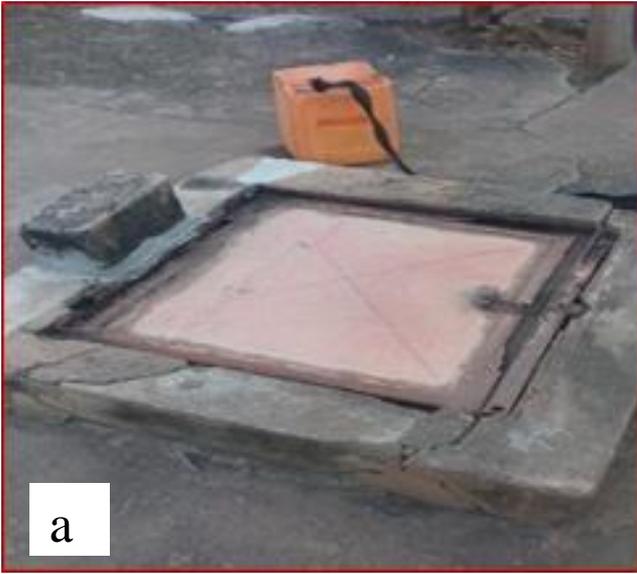
Le taux de consommation de l'eau en sachet ou en bouteille diffère d'un niveau à l'autre. En effet, la population exerçant des activités libérales, les étudiants et élèves préfèrent l'eau en sachet par rapport à l'eau embouteillée. Contrairement aux consommateurs des autres secteurs d'activité, les fonctionnaires consomment plus les eaux embouteillées que les eaux en sachet. Cette préférence serait due d'une part au coût abordable et d'autre part à l'accessibilité de ce produit. Les études menées par **Kouadio et al. (2013)** et **Blé et al. (2015)** sur les eaux

ensachées à Abidjan, ont montré que les eaux ensachées sont moins coûteuses, accessibles et rafraichissantes. Bien que l'eau ensachée présente des avantages, les conditions d'hygiène peuvent impacter sa qualité. Les observations ont montré que, l'eau ensachée est conditionnée à la main ou à l'aide des machines. De plus, pour la commercialisation de ces eaux, les vendeurs conditionnent ces eaux soit dans les glacières, soit dans des récipients non couverts pour attirer l'attention des clients. En effet, les études menées par **Blé et al. (2015)**, concernant les eaux conditionnées en sachet, ont indiqué, que la méconnaissance des règles élémentaires d'hygiène environnementale contribue à la dégradation de la qualité des eaux conditionnées. L'étude relative à la qualité des eaux en sachet effectuée par **Manizan et al. (2013)**, a révélé la non-conformité des eaux conditionnées ensachées. D'ailleurs, les risques sanitaires que présentent les eaux en sachets sont généralement en rapport avec le conditionnement et le stockage (**Ayad et Kahoul, 2016**).

### **I.3. Facteurs de la dégradation de la qualité de l'eau**

#### **I.3.1. Condition de collecte et de transport de l'eau de consommation dans les ménages**

La **Figure 8** décrit le conditionnement du matériel de prélèvement (**Figure 8 a**), les conditions dans lesquelles un individu prélève l'eau dans un puits (**Figure 8 b**), les conditions de collecte et de transport d'eau dans les ménages (**Figure c et figure d**). Les récipients dans lesquels ces eaux sont collectées et transportées sont souvent ouverts et les mains sont en contact direct avec ceux-ci .



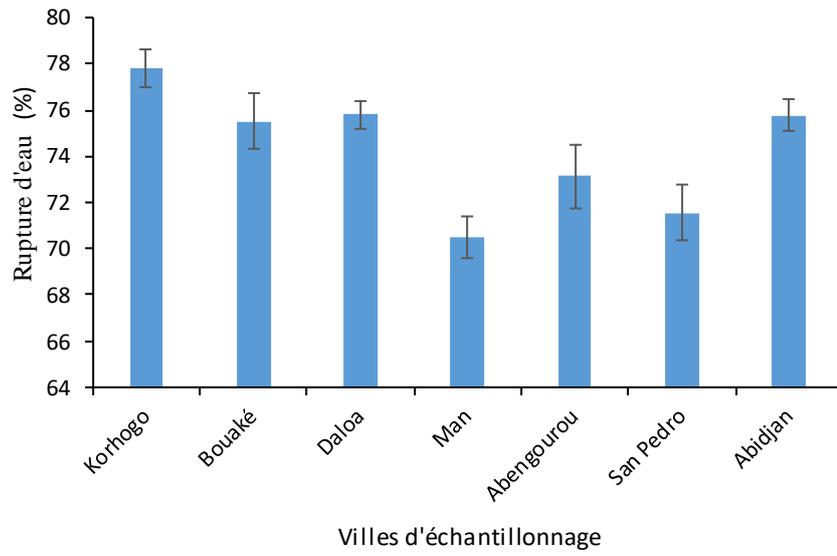
**Figure 8:** Matériel de prélèvement d'eau (a), prélèvement d'eau (b) et condition de collecte et de transport d'eau (c et d)

## **Interprétation**

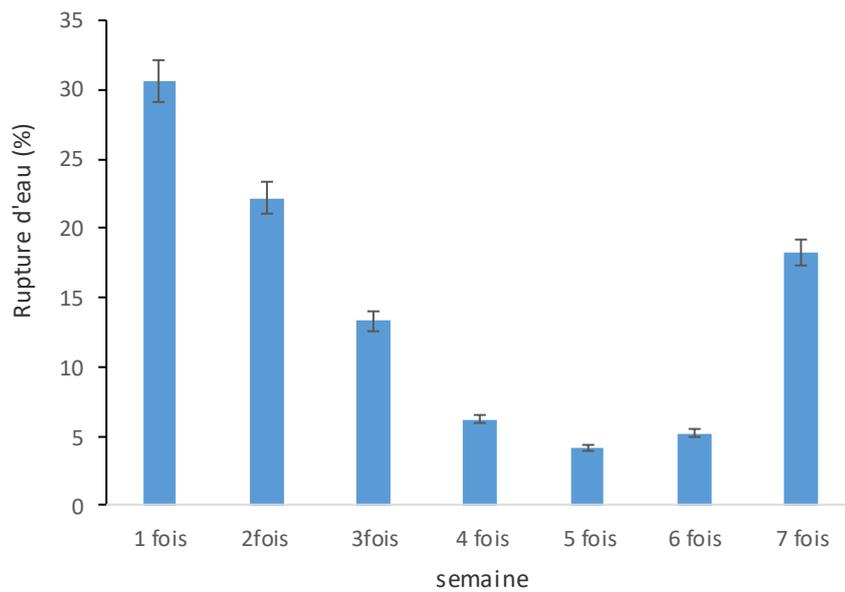
Les conditions dans lesquelles l'individu prélève l'eau dans le puits, la conservation de la puisette et l'exposition de l'eau à ciel ouvert lors de la collecte et du transport laissent présager une dégradation de sa qualité. Les comportements adoptés par les populations pourraient s'expliquer par le manque d'instruction et la méconnaissance des règles d'hygiène. On pouvait probablement s'attendre à la prolifération des microorganismes due à une contamination croisée qui exposerait les populations aux maladies hydriques. Ces pratiques ont été incriminées par d'autres auteurs ( **Kouakou-Sackou et al., 2012 ; Houssounou et al. , 2018**). Selon ces auteurs, les conditions de collecte et de transport de l'eau potable du point d'accès jusqu'à domicile sont déterminantes pour le maintien de sa qualité car une eau peut être de bonne qualité à la source mais la manipulation de celle-ci peut entraîner la dégradation de sa qualité (**Ayad, 2017**).

### **I.3.2. Rupture d'eau dans les ménages.**

La rupture d'eau varie de 70,48 % (Man) à 77,8 % (Korhogo) (**Figure 9**). En moyenne, 74,58 % de la population investiguée est confrontée au problème de rupture d'eau du réseau au moins une fois dans la semaine. Aussi, le nombre de rupture d'eau est compris entre une et sept fois par semaine (**Figure 10**). Le taux de rupture d'eau une fois par semaine (30,6 %) est plus élevé que les autres fois dans la semaine.



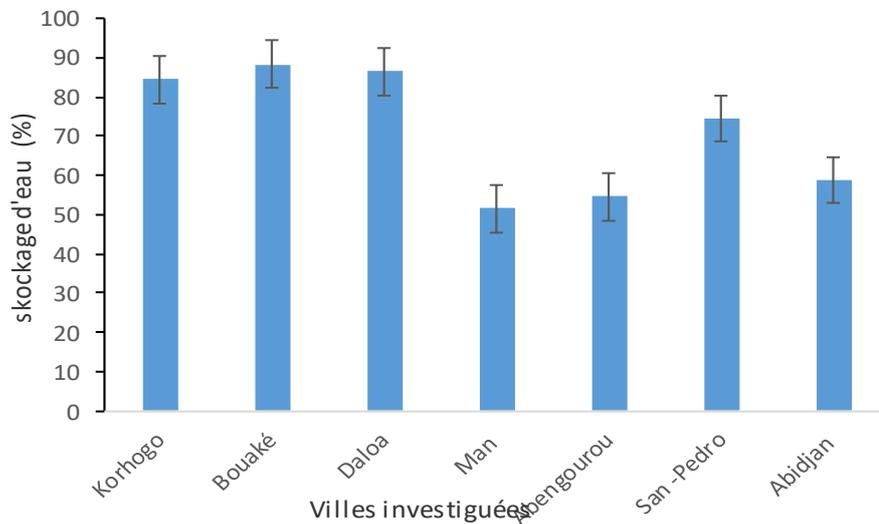
**Figure 9:** Rupture d'eau dans les ménages



**Figure 10:** Frequence de rupture d'eau du réseau public dans la semaine

### I.3.3. Stockage d'eau dans des ménages

Le taux de stockage d'eau dans les ménages investigués en fonction des villes est présenté à la **Figure 11**. Au regard, des fréquences élevées de rupture d'eau, les populations préfèrent faire des réservations d'eau. Ainsi, les résultats des enquêtes ont révélé des données allant de 51,56 % (Man) à 88,45 % (Korhogo). En d'autres termes, 77,25 % de la population en moyenne sur l'ensemble des villes ciblées conservent de l'eau dans les ménages.



**Figure 11:** Pourcentages de stockage d'eau dans les ménages en fonction des villes

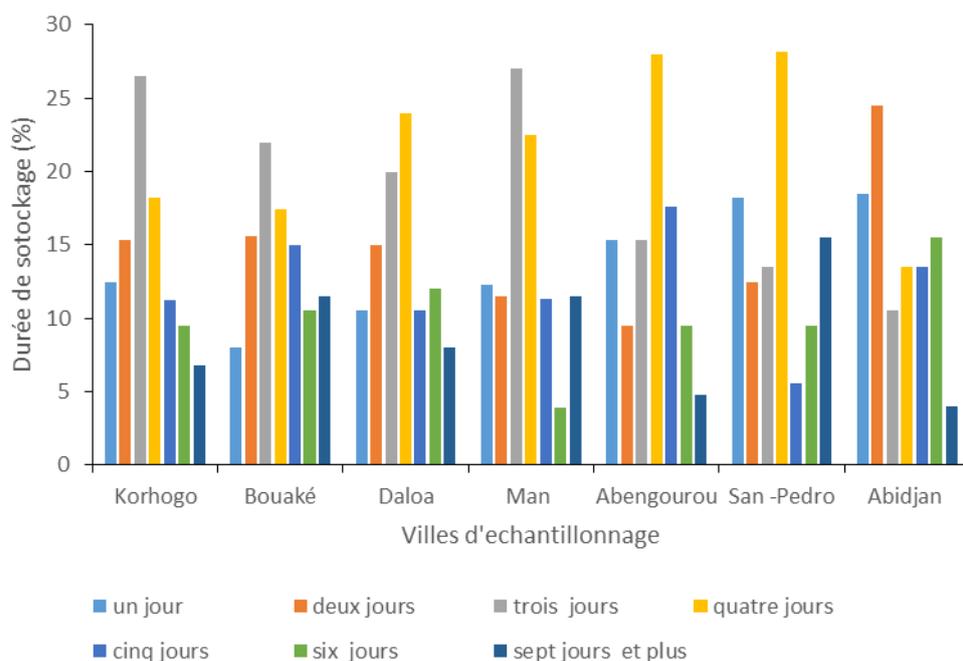
#### Interprétation

La rupture d'eau observée dans les ménages pourrait être due à la forte demande en eau de la population et les pannes des systèmes d'alimentation en eau. Selon le rapport de l'**UNICEF (2008)**, les services d'alimentation en eau potable ne suivent pas la croissance démographique due à une urbanisation anarchique non maîtrisée. Ce qui a eu pour conséquence majeure une augmentation disproportionnée des besoins en eau potable des populations entraînant des baisses de pression et des manques d'eau potable (**MBra al., 2015**). Les travaux de **Diarra et al. (2014)** et **Maillard et al. (2019)** menés respectivement à Daloa et Bouaké ont révélé que la problématique d'accès à l'eau potable est due à la vétusté des infrastructures, au retard des

investissements provoqué par les différentes crises politico-financières et au tarissement de certains barrages utilisés pour la production d'eau potable. Face aux difficultés d'accès à l'eau potable, les populations ont développé le système de stockage de l'eau afin de pallier le problème de manque d'eau dans des ménages. Les résultats des investigations révèlent que les proportions de stockage de l'eau oscillent entre 51,56 % et 88,45%. Environ 71,25 % de la population investiguée conserve de l'eau dans des ménages. Le stockage adopté par la population pourrait se justifier par la rupture imprévisible, la gestion de l'eau, les préoccupations économiques et la distance parcourue pour prélever de l'eau. Nos résultats sont proches de ceux de **Kouakou-Sackou et al. (2012)**, qui ont estimé que le stockage de l'eau était réalisé dans 75,6 % des ménages investigués à Andokoi (Abidjan). Cependant ils sont inférieurs à ceux d'**Hounsounou et al. (2016)**, qui ont trouvé que 91,6% des ménages investigués à Cotonou (Benin) pratiquaient le stockage de l'eau. Selon ces auteurs, le stockage de l'eau pratiqué dans les ménages serait lié d'une part à la rupture d'eau imprévisible par les structures de production d'eau portable. De même, les travaux effectués par **Tuo et al. (2017)**, attestent que le stockage de l'eau est une pratique adoptée aussi par la population des quartiers de Gonzagueville et Jean-Folly à Abidjan afin de faire face aux fréquentes ruptures d'eau par la SODECI. La discontinuité du service d'eau conduit les usagers à stocker l'eau dans les ménages. D'autre part le stockage de l'eau serait lié aux problèmes économiques. Selon **Amin et al. (2008)**, le stockage de l'eau n'est pas seulement dû à un problème de rupture ni à son transport mais résulte également d'un problème économique.

#### **I.3.4. Durée de stockage de l'eau dans les ménages**

La durée de stockage de l'eau dans les ménages des localités étudiées varie entre un et sept jours (**Figure 12**). Les proportions de la population conservant de l'eau dans les ménages sont de 13,61%, 14,84%, 19,26 %, 20,97 %, 12,1%, 10,02 % et 8,82 % sur les durées respectives d'un jour, deux jours, trois jours, quatre jours, cinq jours, six jours et sept jours et plus. Plus de 47,71% de la population conserve de l'eau sur une période allant d'un à trois jours tandis que 52,29% de la population des localités étudiées conservent de l'eau sur des durées allant de 4 jours à sept jours et plus.



**Figure 12:** Durée de stockage de l'eau dans les ménages

### Interprétation

Il ressort de ces analyses que, les eaux sont stockées sur une durée allant d'un à sept jours. Les Taux de la durée de stockage d'eau entre trois et quatre jours sont plus élevés que ceux des autres jours. Le stockage de l'eau sur une longue durée pourrait être dû au volume de matériel de stockage de l'eau. Selon les ménages investigués, les eaux sont renouvelées lorsque l'eau des récipients de stockage est vidée. Ils ont également rapporté qu'ils se réveillaient tard dans la nuit pour recueillir l'eau et qu'ils parcourraient parfois de longues distances pour avoir accès à l'eau. Selon **Kouakou– Sackou et al. (2012)**, plus les réservoirs sont de grands volumes, plus longtemps durs l'eau en stockage. De même, les travaux réalisés par **Ayad (2017)**, avaient rapporté que la durée de stockage et les conditions d'hygiène de stockage de l'eau à domicile favorisaient la détérioration de la qualité microbiologique par la prolifération des bactéries et augmentaient le risque sanitaire.

#### I.4. Différents types de matériel de stockage dans les ménages

Les récipients tels que les seaux, les bidons, les bassines sont utilisés pour le stockage de l'eau dans les ménages (**Tableau X**). Les taux de la population conservant de l'eau dans ces différents récipients sont de 40,63 % (seaux), 22,07 % (bidons) et 25,71 % (bassines).

**Tableau X:** Matériel de stockage les ménages

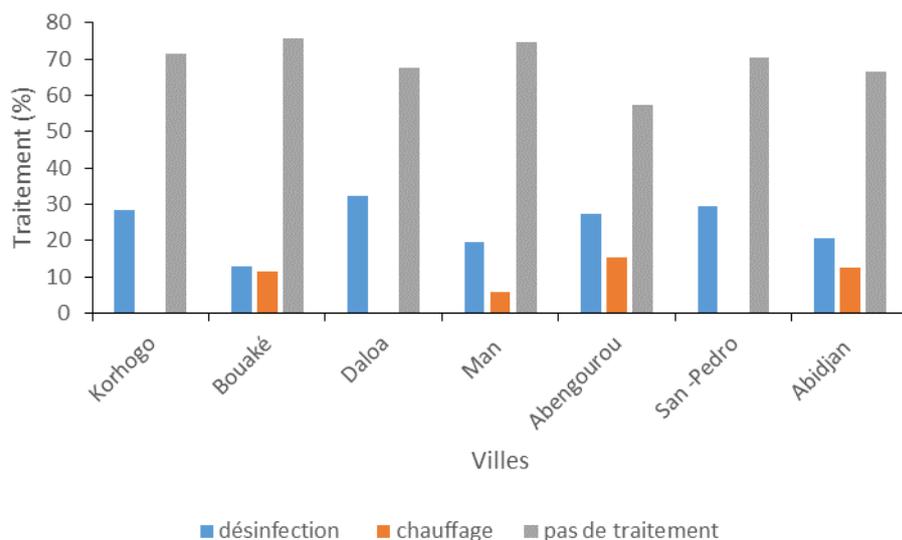
Matériel de stockage	Korhogo	Bouaké	Daloa	Man	Abengourou	San- Pedro	Abidjan
Seaux (%)	29,1	22,2	62,4	11	55,8	50,13	64,8
Bidons (%)	19,5	40,3	12,3	23,3	24,8	21,8	12,5
Bassines (%)	45,4	26,5	13,5	55,7	10,5	15	13,4
Autres (%)	6	11	11,8	10	8,9	10,07	9,3

### Interprétation

L'analyse du tableau révèle que des seaux, des bidons et des bassines sont utilisés comme matériel de stockage. L'utilisation de ces matériels pour la conservation de l'eau dans les ménages des localités étudiées pourrait se justifier par leur disponibilité sur le marché ivoirien. Les travaux d'**Awonon et al. (2019)**, à Daloa et **Santos et al. (2006)**, au Burkina Faso ont montré que les ménages utilisaient les mêmes récipients pour le stockage de l'eau. Mais contrairement à nos résultats, ceux-ci ont souligné, que le seau était le deuxième matériel de stockage de l'eau après les barriques. Selon ces auteurs, l'utilisation de ces matériels en plastique pourrait se justifier par son accessibilité sur les marchés. Ils ont également souligné que l'entretien des barriques, des seaux et des bassines étaient plus faciles par rapport à l'entretien des bidons. Par conséquent, l'utilisation des bidons prédispose la prolifération des microorganismes dans les eaux stockées, car le temps de séjour de l'eau dans les bidons est généralement long par rapport aux autres (**Claon et al., 2005**).

### I.5. Différents types de traitements des eaux de puits par les ménages

Les ménages utilisent soit la désinfection soit le chauffage pour traiter les eaux de puits avant toute utilisation. Ainsi, les résultats de la **Figure 13** confirment cela à travers les pourcentages des ménages variant de 12,89 % (Bouaké) à 33,21 % (Daloa) pour la désinfection contre 5,8 % (Man) à 15,5 % (Abengourou) pour le chauffage. Par ailleurs, les populations de Korhogo, Daloa et San- Pedro ne procèdent pas au chauffage de l'eau de puits. En somme, 30,84 % de la population procède soit à une désinfection ou au chauffage de l'eau de puits avant son utilisation comme eau de boisson. Par contre, 69,47 % de population enquêtée ne traite pas l'eau avant l'utilisation.



**Figure 13:** Types de traitements des eaux de puits par les ménages

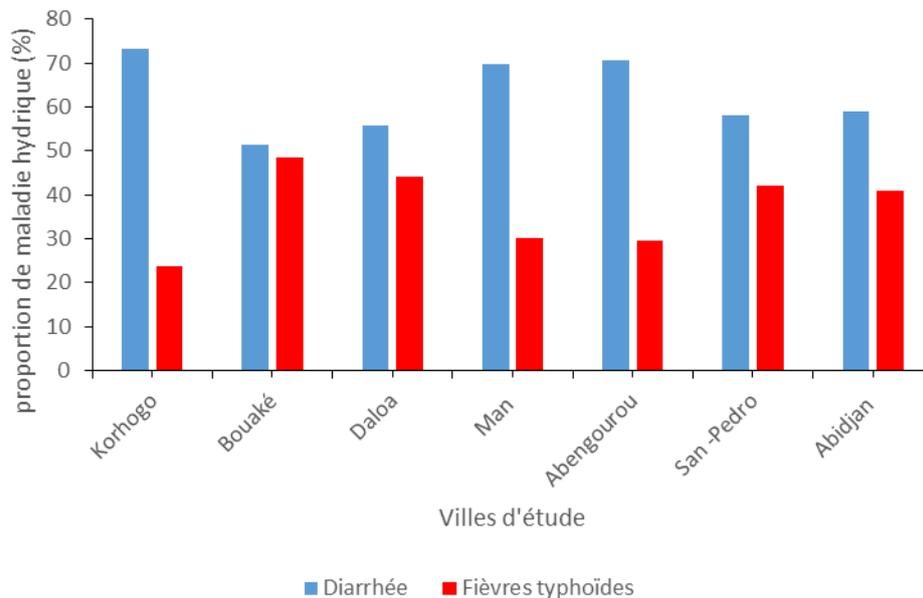
### Interprétation

Les données relatives aux traitements de l'eau, ont montré que 69,47 % de la population investiguée ne traite pas l'eau avant l'utilisation. Le non-traitement des eaux de puits observé dans les ménages pourrait être dû à l'aspect limpide que présentent ces eaux, aux manques de produits de traitement et aussi à l'ignorance de la population sur la qualité de l'eau consommée. Or les observations effectuées sur le terrain ont révélé que la plupart de ces puits sont construits dans les lieux d'habitation. Ces puits sont susceptibles de recevoir les eaux usées, domestiques qui pourraient dégrader la qualité de ces eaux. Le traitement de ces eaux de puits pourrait garantir une bonne qualité au niveau microbien (**Kouadio et al., 2017 ; Awomon et al., 2019**). Nos résultats sont proches de ceux obtenus par **Awomon et al. (2019)**, qui ont souligné que 68,24 % des ménages ne traitent pas l'eau de puits utilisée à des fins domestiques contre 31,76 % des ménages qui procèdent par des méthodes de traitement de l'eau. Selon ces auteurs la désinfection et l'ébullition sont des méthodes de traitement efficace pour détruire les microorganismes.

### I.6. Maladies rencontrées dans les ménages investigués

Les taux de la population ayant exprimé des cas antérieurs de diarrhée et de fièvre typhoïde sont illustrés par la **Figure 14**. Concernant la diarrhée, les cas antérieurs rencontrés à Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, Abengourou, San-Pedro et Abidjan sont respectivement de 73,3 %, 51,5 %, 58,88 %, 69,87 %, 70,52 %, 58 % et 59 %. Les proportions des individus

ayants exprimé des cas de fièvre typhoïde varient entre 23,68 % et 48,5 %. La plus forte proportion de la fièvre typhoïde a été observée à Daloa (48,5%) et la plus faible proportion observée à Korhogo (23,68 %).



**Figure 14:** Maladies hydriques exprimées au sein de la population

### Interprétation

Au cours de notre investigation, des antécédents de maladies hydriques tels que la diarrhée et la fièvre typhoïde ont été énumérés par la population. Environ 63 % des individus investigués avaient exprimé des cas de diarrhée et 37 % des cas de fièvre typhoïde. L'une des causes de ces maladies hydriques exprimées par la population rencontrée pourrait être due à la consommation des eaux stockées et manipulées. Les enquêtes révèlent que lors du prélèvement des eaux stockées, les populations utilisent des récipients qui sont directement en contact avec les mains. Une fois ces ustensiles utilisés, ils sont placés sur les couvercles des récipients de stockage, attendant d'être réutilisés à nouveau sans être lavés. Ces pratiques ne respectant pas les conditions d'hygiène pourraient contribuer à la prolifération des bactéries pathogènes. Les travaux effectués par **Somé et al. (2014)**, sur la prévalence des maladies liées à l'eau au Burkina Faso, avaient relevé que dans ce pays 99 % des échantillons d'eau stockée étaient contaminés par les microorganismes pathogènes tels que la *salmonella* et le *shigella* responsables de la fièvre typhoïde et de la diarrhée. Ces maladies hydriques, pourraient également être dues à l'utilisation des eaux de puits non traitées à des fins

domestiques. En fait, 69,47 % des eaux de puits utilisées par la population enquêtée ne subissent aucun traitement avant la consommation. Or les travaux relatifs à la qualité de l'eau de puits réalisés par **Dégbey et al. (2008)** ont montré que les eaux de puits présentent une pollution bactériologique. De ce fait, elles exposeraient la population à des risques de maladies d'origine hydrique.

### **Conclusion Partielle**

L'enquête menée auprès de la population des villes de Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, Abengourou, San- Pedro et Abidjan a permis d'identifier les sources d'approvisionnement en eau ainsi que les facteurs de la dégradation de la qualité de ces eaux.

Les résultats de ces enquêtes ont révélé que 55,27 % des ménages sont fournis en eau par le réseau public de la Côte d'Ivoire (SODECI). Environ 18,2 % des ménages achètent l'eau du réseau public chez des revendeurs et 26,35 % des ménages utilisent l'eau de puits pour des besoins domestiques. En fait, l'achat d'eau chez les revendeurs et le prélèvement d'eau dans les puits par la population, impliquent une phase de collecte et de transport de ces eaux. Face à cette difficulté, environ 71,25 % de la population investiguée conserve l'eau dans des ménages. Ces eaux sont conservées dans des seaux (40,63 %), des bidons (22,07 %) et des bassines (25,71 %) sur une période allant d'un à sept jours et plus. Concernant les eaux conditionnées, 87,99 % de la population investiguée consomme de l'eau ensachée et seulement 12,01 % consomme de l'eau embouteillée. Environ 52 % de la population consommatrice des eaux ensachées exerce des activités libérales (mécaniciens, coiffeuses, vendeurs, etc.), 44 % sont des élèves et étudiants et 4 % des fonctionnaires. Par ailleurs, les résultats des enquêtes ont indiqué qu'environ 63 % des individus investigués avaient exprimé des cas de diarrhée et 37 % des cas de fièvre typhoïde.

Les conditions environnementales des puits et les conditions d'hygiène du stockage de l'eau dans les ménages sont les facteurs qui pourraient détériorer sa qualité et seraient à l'origine des maladies hydriques. Pour clarifier la perception des consommateurs sur la qualité de l'eau de consommation, une analyse microbiologique et physico-chimique s'avère nécessaire.

---

## CHAPITRE II : QUALITE PHYSICO-CHIMIQUE ET MICROBIOLOGIQUE

---

### Introduction

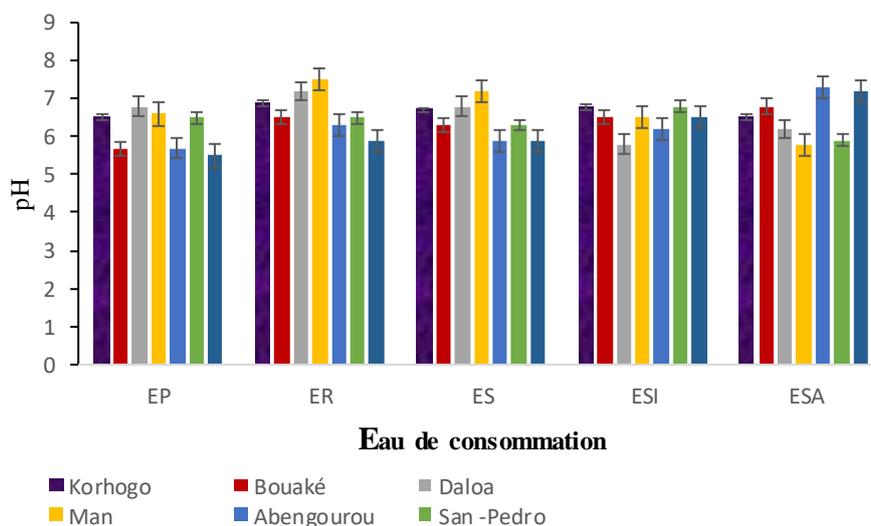
L'appréciation de la qualité de l'eau consommée par la population enquêtée a nécessité des analyses chimiques et microbiologiques. Les analyses physico-chimiques ont porté d'une part sur des paramètres mesurés *in situ* (pH, température, turbidité, conductivité et chlore résiduel) et d'autre part sur des paramètres mesurés au laboratoire comme les substances indésirables (nitrates, fluorure et fer) et toxiques (arsenic cadmium et plomb). Concernant l'analyse microbiologique, elle a porté sur les germes aérobies mésophiles, coliformes totaux, *Escherichia coli et salmonella*. Les résultats sont présentés sous forme de digrammes et de tableaux.

### II.1. Paramètres physico- chimiques

#### II.1.1. pH

La **Figure 15** indique les valeurs moyennes du pH des eaux du réseau public (ER), des eaux de puits (EP), des eaux stockées (ES) et des eaux conditionnées en sachet de façon artisanale (ESA) et industrielle (ESI).

Les pH des eaux de puits des villes investiguées varient entre  $5,50 \pm 0,28$  et  $6,80$ . Il faut noter que les valeurs moyennes du pH obtenues dans les eaux de puits de Korhogo ( $6,53 \pm 0,56$ ), Daloa ( $6,80 \pm 0,18$ ), Man ( $6,6 \pm 0,52$ ) et San-pedro ( $6,6 \pm 0,74$ ) sont conformes aux valeurs recommandées par l'OMS (6,5 et 8,5). Concernant, les eaux du réseau public (ER), les pH sont compris entre  $5,9 \pm 0,28$  (Abidjan) et  $7,5 \pm 0,41$  (Man). S'agissant des eaux stockées, les valeurs moyennes des pH oscillent entre  $6,24 \pm 0,41$  et  $6,8 \pm 0,68$ . À propos des eaux conditionnées en sachet de façon artisanale, les valeurs moyennes de pH des villes de Daloa ( $6,2 \pm 0,8$ ), Man ( $5,8 \pm 0,18$ ) et San -Pedro ( $5,9 \pm 0,42$ ) ne sont pas conformes aux valeurs recommandées par l'OMS (6,5 et 8,5). Quant aux eaux de type semi-industriel, seulement la valeur moyenne du pH des eaux de Daloa est inférieure à la valeur- limite de l'OMS qui est de 6,5.



**Figure 15:** Valeurs moyennes de pH des échantillons d'eau de consommation des villes d'études

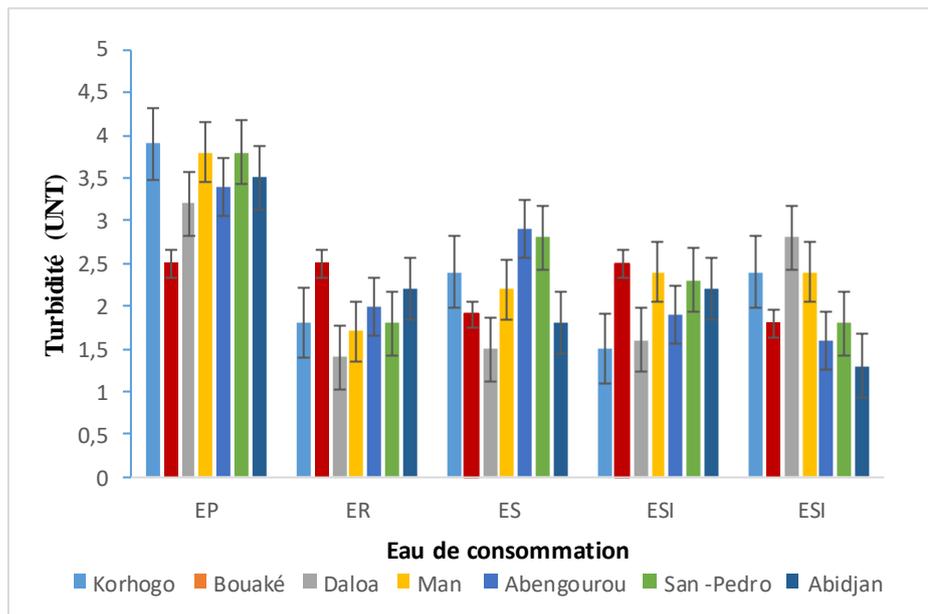
### Interprétation

Au regard des valeurs moyennes du pH des eaux de consommation, il apparaît que la majorité des valeurs de pH est inférieure à 7. L'acidité de ces eaux pourrait être liée soit à la composition chimique des eaux d'infiltration, soit à la géologie du milieu ou aux types de traitement adopté. Les travaux menés par **Ahoussi et al. (2013)**, sur les eaux souterraines à Abidjan ont montré que l'acidité de ces eaux était liée à la présence de CO<sub>2</sub> issu de la décomposition biologique des composés organiques enfouis dans le sol. En effet, le CO<sub>2</sub> dissous dans l'eau se retrouve sous la forme d'acide carbonique H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> dû aux eaux d'infiltration. Selon **Matini et al. (2009)**, l'acidité des eaux souterraines dépendait du type de roche et du sol traversé par les eaux. Nos résultats se rapprochent de ceux d'**Ahoussi et al. (2008)** et de **Mbra et al. (2015)** qui avaient attesté que les eaux de consommation des régions d'Abidjan et de Korhogo étaient acides. En fait, les eaux souterraines de la Côte d'Ivoire sont généralement acides et cela avait été démontré par **Yapo et al. (2010)**. Selon **Ayad et Kahoul (2016)**, une eau acide ne présente pas d'effet néfaste immédiat sur la santé du consommateur. Toutefois, l'eau acide est agressive et peut libérer les métaux dans les canalisations.

#### II.1.2. Turbidité

Les valeurs moyennes de la turbidité des échantillons d'eau de consommation des villes étudiées sont comprises entre  $1,3 \pm 0,45$  UNT (Abidjan) et  $3,9 \pm 0,48$  UNT (Korhogo) (**Figure 16**). Toutes ces valeurs sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS, qui est

de 5 UNT pour les eaux de consommation. Les échantillons d'eau de puits des villes sont plus turbides que les autres types d'eau.



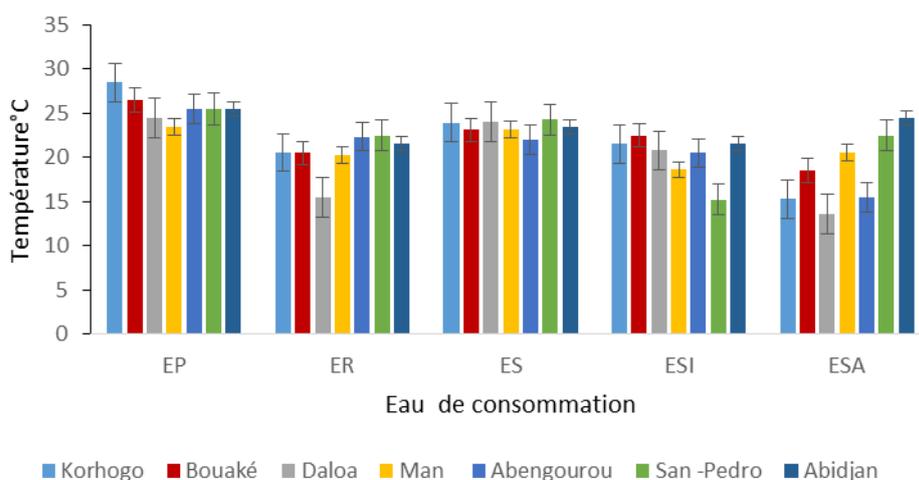
**Figure 16:** Valeurs moyennes de turbidité des eaux de consommation des villes étudiées

### Interprétation

La différence de turbidité observée entre les échantillons d'eau de puits et les autres types d'eau pourrait s'expliquer par le traitement adopté. En effet, les eaux du réseau public (ER) subissent un traitement avant d'être utilisées comme eaux de consommation. Il faut souligner que les eaux du réseau public sont généralement utilisées pour le stockage d'eau dans les ménages ainsi que le conditionnement d'eau en sachet. La turbidité élevée des eaux de puits serait liée à la présence des matières en suspension existante naturellement dans l'eau, comme le limon, l'argile, les matières organiques et inorganiques en particules fines (N'Diaye et al., 2010). Les valeurs de turbidité obtenues dans les eaux de puits des différentes villes étudiées sont inférieures à celles de Kouadio et al. (2017), obtenues dans les eaux de puits d'Agboville (7,53 NTU) et Orou et al. (2016) dans les eaux de puits d'Azaguié (19,75 NTU). Il faut souligner que la turbidité de l'eau ne présente pas d'effet immédiat sur la santé du consommateur, toutefois elle donne à l'eau une apparence trouble, ainsi qu'une odeur et un goût déplaisant (OMS, 2011). Le plus important effet lié à la santé qui caractérise la turbidité est probablement sa capacité de protéger les bactéries et les virus contre la désinfection (N'diaye et al., 2010).

### II.1.3. Température

La **Figure 17** présente les valeurs moyennes de température des eaux de puits, des eaux du réseau public, des eaux stockées, des eaux conditionnées de façon artisanale et industrielle. Ces valeurs moyennes sont comprises entre 13,6 °C et 28,5° C. Les températures moyennes des eaux de puits varient entre  $23,4 \pm 0,78$  °C et  $28,5 \pm 1,08$  °C. Il apparaît que, les valeurs moyennes des températures obtenues dans les eaux de puits et les eaux stockées des villes sont plus élevées que celles des eaux du robinet et les eaux conditionnées en sachet.



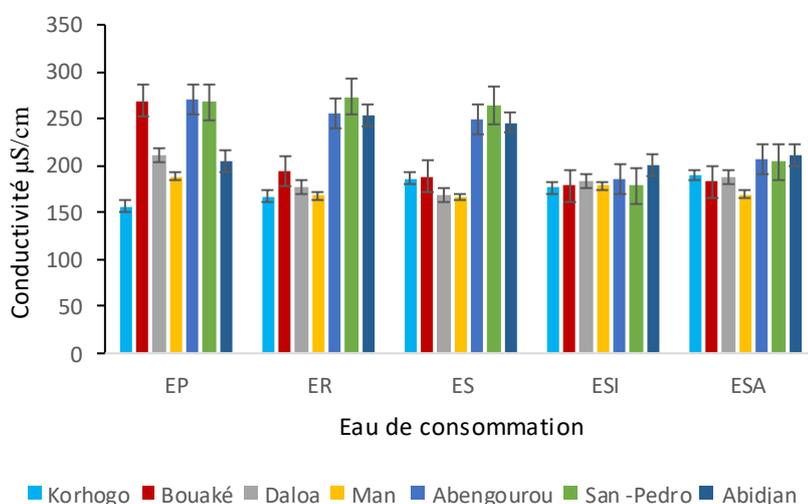
**Figure 17:** Valeurs de température des différents types d'eau de consommation des villes

#### Interprétation

Des températures élevées obtenues dans la plupart des eaux de puits et des eaux stockées seraient liées au rayonnement solaire. En effet, ces eaux sont généralement exposées aux rayonnements solaires. Elles sont fortement influencées par l'évolution climatique. Les études relatives au stockage d'eau menées par **Kouakou- Sackou et al. (2012)**, ont rapporté que la chaleur emmagasinée par les bâtiments était aussi à l'origine d'une forte variation de température à l'intérieur des réservoirs d'eau stockée. Nos valeurs sont similaires à celles des eaux de puits à Korhogo trouvées par **Yapo et al. (2016)**. Ceux-ci ont montré que les températures élevées pourraient s'expliquer par l'influence de la chaleur ambiante sur les eaux prélevées et aussi la profondeur de ces puits. Des températures élevées peuvent favoriser le développement des micro-organismes dans les eaux (**Amir et al., 2008**).

### II.1.4. Conductivité des différents types d'eau

La **Figure 18** illustre les valeurs moyennes des conductivités des différents types d'eau de consommation étudiée. En effet, ces valeurs moyennes varient entre  $156 \pm 0,64 \mu\text{S/cm}$  et  $273,4 \pm 0,52 \mu\text{S/cm}$ . Celles des eaux du réseau public sont comprises entre  $167 \pm 0,82 \mu\text{S/cm}$  et  $273,4 \pm 0,52 \mu\text{S/cm}$  contre  $156,60 \pm 0,64 \mu\text{S/cm}$  et  $271 \pm 0,54 \mu\text{S/cm}$  pour les eaux de puits. Enfin, les eaux stockées ont des conductivités comprises entre  $166 \pm 1,87 \mu\text{S/cm}$  et  $264,2 \pm 0,69 \mu\text{S/cm}$  tandis que les eaux ensachées ont des valeurs comprises entre  $176 \pm 0,98 \mu\text{S/cm}$  et  $211 \pm 0,95 \mu\text{S/cm}$ . Ces valeurs sont pour la plupart inférieures aux recommandations de l'OMS (200 -400  $\mu\text{S/cm}$ ).



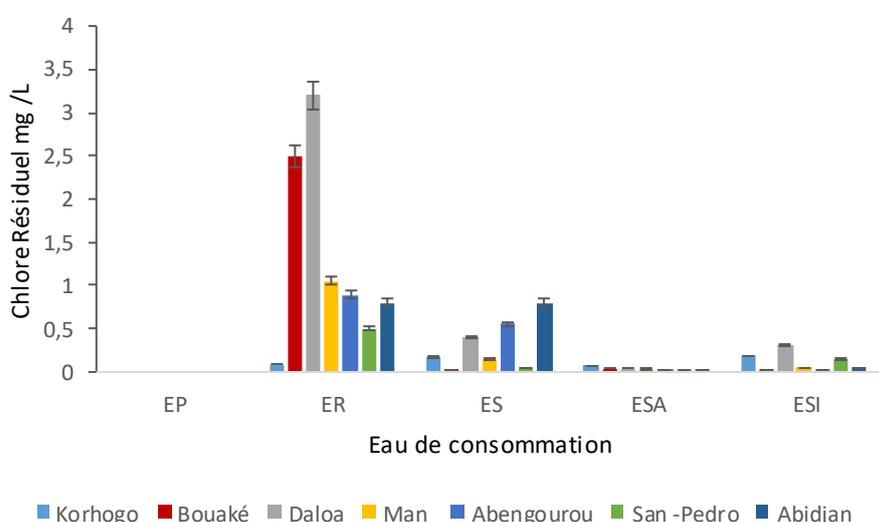
**Figure 18:** Valeurs moyennes des conductivités des différents types d'eau des villes étudiées

### Interprétation

Il ressort de l'analyse des résultats que la plupart des valeurs moyennes sont en général inférieures aux recommandations de l'OMS (200- 400  $\mu\text{S/cm}$ ). Les faibles valeurs de la conductivité pourraient se justifier par les types de sols rencontrés dans ces localités. Selon **Belghiti et al. (2013)**, la conductivité de l'eau dépendrait de l'origine de l'eau et du type de roche traversée par l'eau. Les valeurs de conductivité obtenues dans les eaux de consommation sont proches de celles de **Yapo et al. (2016)**, obtenues dans les eaux de puits de Korhogo. En outre, la minéralisation de l'eau est positivement corrélée à sa conductivité (**Martini et al., 2009**). Au regard des valeurs moyennes de la conductivité des eaux observées, les eaux de consommation des villes étudiées ne sont pas fortement minéralisées.

### II.1.5. Chlore résiduel

La **Figure 19** décrit les concentrations moyennes du chlore résiduel des eaux du réseau public (ER), les eaux stockées (ES), les eaux conditionnées de manière artisanale (ESA) et les eaux conditionnées de manière industrielle (ESI). Les teneurs en chlore résiduel des eaux de consommation varient entre  $0,015 \pm 0,002$  mg/L et  $3,2 \pm 0,12$  mg/L. Dans les eaux du réseau public, ces teneurs oscillent entre  $0,08 \pm 0,03$  mg/L et  $3,2 \pm 0,12$  mg/L. Concernant les eaux stockées dans les ménages, les concentrations moyennes du chlore sont comprises entre  $0,01 \pm 0,002$  mg/L et  $0,8 \pm 0,03$  mg/L. Les teneurs moyennes en chlore des eaux conditionnées de manière artisanale varient entre  $0,01 \pm 0,002$  mg/L et  $0,07 \pm 0,005$  mg/L. Celles des eaux conditionnées de manière industrielle oscillent entre  $0,01 \pm 0,005$  mg/L et  $1,18 \pm 0,02$  mg/L.



**Figure 19:** Valeurs moyennes du chlore résiduel des échantillons d'eau des villes d'étude

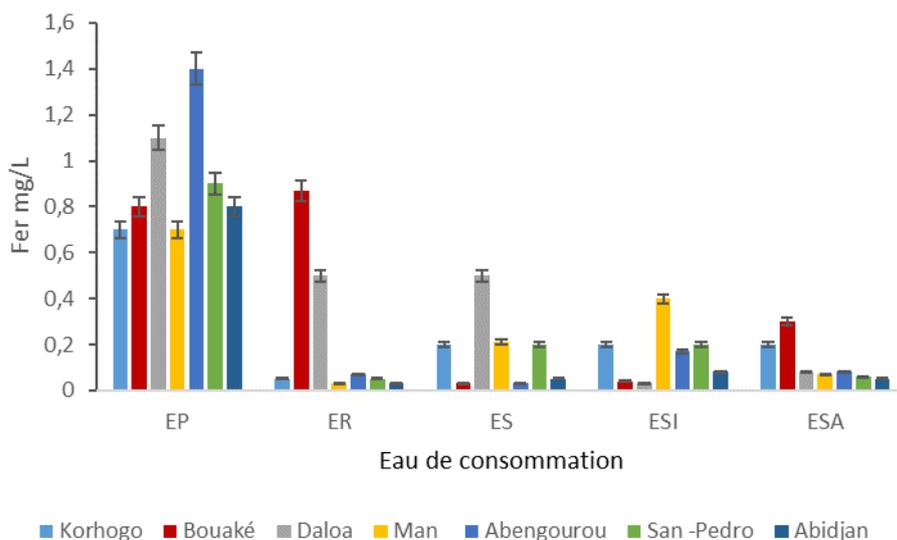
#### Interprétation

À l'exception des eaux du réseau public, les teneurs en chlore résiduel des eaux stockées dans les ménages, les eaux conditionnées en sachet de manière artisanale et industrielle sont pour la plupart inférieures à 0,2 mg/L (valeur limite selon OMS). Les résultats des analyses montrent que, les eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées sont moins chlorées que les eaux du réseau public. Les faibles valeurs du chlore résiduel observées dans les eaux stockées et ensachées seraient liées au phénomène d'évaporation lors du prélèvement, du transport et du conditionnement. En outre, ces faibles teneurs en chlore pourraient être dues à l'exposition. Les faibles teneurs en chlore résiduel ont été observées par **Sackou et al. (2010)**, dans les eaux stockées d'Andokoi à Abidjan. Ceux-ci soulignent que, lorsque l'eau est en contact avec

l'air, le chlore résiduel qu'elle contient s'évapore. Selon **Kahoul et Touhami (2014)**, le chlore est un gaz qui s'évapore lors du stockage de l'eau. En effet, le chlore empêche la prolifération de la plupart des microorganismes pathogènes (**Belghiti et al., 2013**). Par conséquent son absence dans les eaux entrainerait la prolifération des microorganismes responsables des maladies hydriques (**Murray et Lantagne, 2015**).

#### **II.1.6. Fer**

Les concentrations moyennes du fer dans les échantillons d'eau analysés oscillent entre  $0,01 \pm 0,005$  mg/L et  $1,4 \pm 0,04$  mg/L (**Figure 20**). Les teneurs en fer des eaux de puits sont comprises entre  $0,7 \pm 0,28$  mg/L et  $1,4 \pm 0,88$  mg/L. Concernant les eaux du réseau public, la forte concentration du fer a été déterminée dans des échantillons d'eau de Bouaké ( $0,87 \pm 0,5$  mg/L) et ceux de Daloa ( $0,5 \pm 0,07$  mg/L). Les teneurs moyennes en fer des échantillons des eaux stockées dans les ménages de Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, Abengourou, San-Pedro et Abidjan sont respectivement  $0,2 \pm 0,05$  mg/L,  $0,03 \pm 0,001$  mg/L,  $0,5 \pm 0,01$  mg/L,  $0,21 \pm 0,08$  mg/L,  $0,03 \pm 0,002$  mg/L,  $0,2 \pm 0,001$  mg/L et  $0,05 \pm 0,01$  mg/L. Les valeurs moyennes du fer des eaux ensachées conditionnées de façon artisanale varient entre  $0,1 \pm 0,03$  mg/L et  $0,3 \pm 0,02$  mg/L. Concernant les eaux conditionnées de façon industrielle, les valeurs sont comprises entre  $0,1 \pm 0,05$  mg/L et  $0,4 \pm 0,01$  mg/L.



**Figure 20:** Valeurs moyennes du fer des échantillons d'eau des villes d'étude

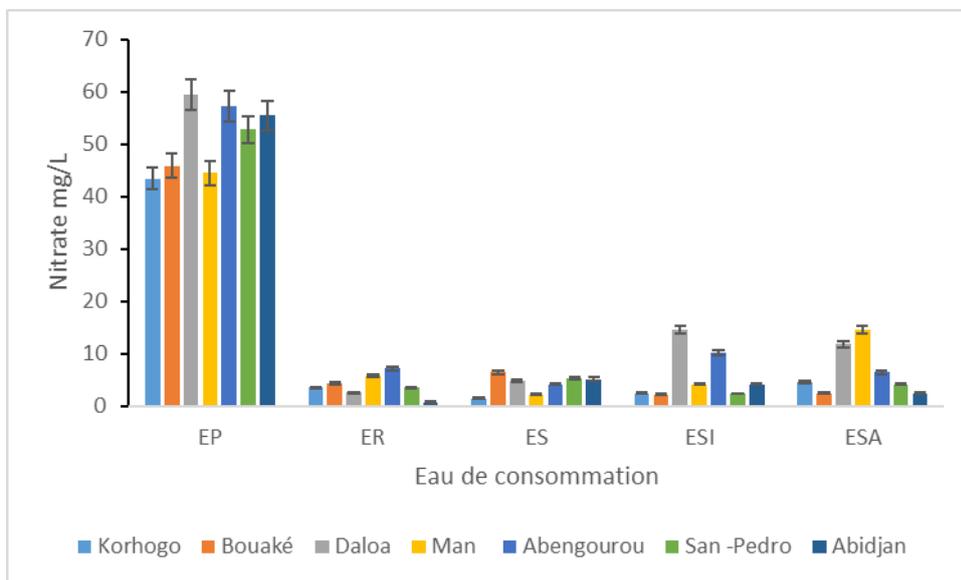
### Interpretation

Il ressort de ces analyses que les valeurs moyennes du fer des eaux de puits des villes étudiées sont toutes supérieures à la valeur recommandée par l'OMS, qui est de 0,3 mg/L pour les eaux de consommation. Concernant les eaux du réseau public, les concentrations des échantillons d'eau de Bouaké ( $0,87 \pm 0,5$  mg/L) et celles de Daloa ( $0,5 \pm 0,07$  mg/L) sont supérieures à la recommandation de l'OMS. Les valeurs moyennes élevées obtenues dans les eaux de puits pourraient provenir des eaux d'infiltration chargées en élément ferreux. Aussi, les puits sont pour la plupart couverts avec des couvercles en fer. En effet, les fortes teneurs en fer donnent une coloration rouge à l'eau et lui confèrent un goût métallique désagréable entraînant un problème d'acceptabilité par les populations (N'Guettia *et al.*, 2019). Selon Goné *et al.* (2005), les fortes teneurs du fer suggèrent que l'eau est pauvre en Oxygène dissous. Plusieurs auteurs ont montré que les eaux souterraines (eau de puits, eaux de forage) sont naturellement riches en fer (Yao *et al.*, 2012 ; Bakouan *et al.*, 2017 ; 2017 : Ahoussi *et al.*, 2018). Concernant les eaux du réseau public des villes de Bouaké et Daloa, les teneurs élevées du fer pourraient être liées au vieillissement des tuyauteries.

#### II.1.7. Nitrate

La **Figure 21** décrit les teneurs en nitrate des échantillons d'eau des zones d'étude. Les valeurs moyennes du nitrate des échantillons des eaux de puits varient entre  $13,8 \pm 1,8$  mg/L et  $59,8 \pm 0,89$  mg/L. Les teneurs en nitrate des eaux de puits de Daloa ( $55,8 \pm 1,81$  mg/L), de

San Pedro ( $52,8 \pm 1,36$  mg/L) et d'Abidjan ( $59,8 \pm 0,89$  mg/L) ne sont pas conformes à la valeur recommandée par l'OMS qui est de 50 mg/L. Concernant les eaux du réseau public, les valeurs moyennes du nitrate sont comprises entre  $1,4 \pm 0,84$  mg/L et  $3,5 \pm 0,5$  mg/L. S'agissant des eaux stockées dans des ménages des villes investiguées, les concentrations moyennes du nitrate oscillent entre  $4,5 \pm 0,45$  mg/L et  $8,5 \pm$  mg/L. Les concentrations moyennes des échantillons d'eau conditionnés de façon artisanale varient entre  $2,5 \pm 0,8$  et  $14,6 \pm 0,44$  mg/L. Les teneurs en nitrate des eaux conditionnées de façon industrielle sont comprises entre  $2,2 \pm 0,2$  mg/L et de  $14,07 \pm 0,84$  mg/L. Il faut noter que les teneurs en nitrate des eaux du réseau public, les eaux stockées et les eaux conditionnées en sachet sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS.



**Figure 21:** Valeurs moyennes du nitrate des eaux de consommation des villes d'étude

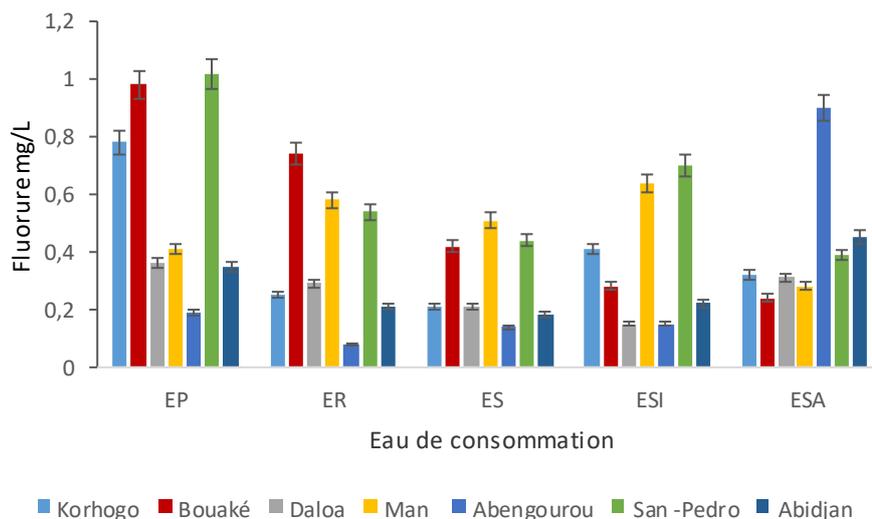
### Interprétation

L'analyse des résultats révèle que les teneurs en nitrate des eaux de puits de San Pedro ( $52,5 \pm 1,36$  mg/L), de Daloa ( $55,8 \pm 1,81$  mg/L), et d'Abidjan ( $59,8 \pm 0,89$  mg/L) ne sont pas conformes à la recommandation de l'OMS qui est de 50 mg/L. Les valeurs élevées du nitrate observées dans les eaux de puits seraient liées aux infiltrations des eaux usées domestiques et aux apports des rejets des activités intenses menées à proximité de ces puits. Selon **Ouattara et al. (2016)**, les infiltrations des eaux usées domestiques et les rejets des activités dans les puits enrichissent les eaux en nitrate. Par ailleurs, les études menées par **Laghzal et Salmoun (2014)**, indiquent qu'à l'état naturel, la teneur en nitrate des eaux souterraines dépasse rarement 10 mg/L, par conséquent toute teneur en nitrate excédant 10 mg/L semble suggérer

des apports ponctuels d'origine naturelle ou anthropique. La non-conformité du nitrate dans les eaux souterraines a été signalée par certains auteurs en Côte d'Ivoire (Ahoussi et al., 2017; Aka et al., 2013 ; Kouadio et al., 2017).

### II.1.8. Ion fluorure

La **Figure 22** présente les concentrations moyennes de l'ion fluorure des eaux de puits, des eaux du réseau public, les eaux stockées dans les ménages et les eaux conditionnées de façon artisanale et industrielle. L'analyse de la figure indique que la faible teneur en ion fluorure est déterminée dans les eaux du réseau public de la ville d'Abengourou ( $0,08 \pm 0,03$  mg/L) et la valeur moyenne la plus élevée est obtenue dans les eaux de puits de San- Pedro ( $1,02 \pm 0,2$  mg/L<sup>o</sup>). Il apparaît clairement que les teneurs en ion fluorure obtenues dans les différents types d'eau de consommation des villes investiguées sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS qui est de 1,5 mg/L.



**Figure 22:** Valeurs moyennes du fluor des eaux de consommation des villes d'étude

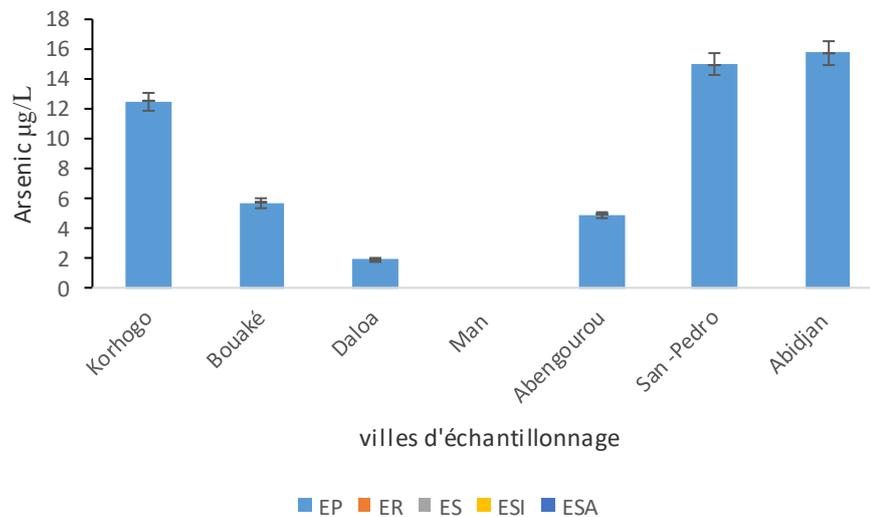
### Interprétation

Les faibles teneurs en ion fluorure obtenues dans ces différents types d'eau dépendraient du type de roche et des caractéristiques physicochimiques du sol traversées par les eaux et les activités menées dans ces localités. Selon Kumar et al. (2015) et Grützmacher et al. (2013), le fluor provient des minéraux naturels tels que la fluorite, l'apatite, la topaze, les micas, et amphiboles. Aussi, les travaux réalisés par Yousefia et al. (2017) ont montré que le fluor peut provenir des activités anthropiques par l'utilisation intensive d'engrais phosphaté et

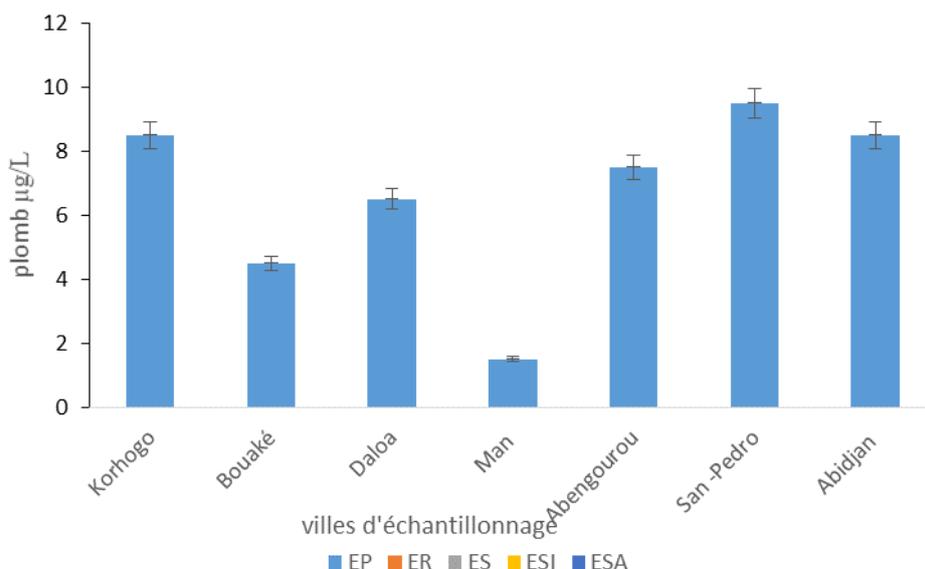
d'herbicides (Malago et al., 2017). Cela montre que les roches rencontrées et les activités menées dans ces zones d'étude ne sont pas riches en ion fluorure. Les études menées par Oga et al. (2016) sur les eaux du forage d'Abouabou (Abidjan) ont également révélé des teneurs en fluorure inférieures à la valeur limite recommandée qui est de 1,5 mg /L.

### II.1.9. Arsenic et plomb

Les teneurs moyennes en arsenic et en plomb des différents types d'eau de consommation des zones étudiées sont décrites par les Figures 23 et 24. Ces figures montrent que les teneurs en arsenic et en plomb n'ont pas été détectées dans les eaux du réseau public, les eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées des villes étudiées. Concernant la teneur en arsenic, elles oscillent entre 0 µg/L et  $15,8 \pm 0,58$  µg/L. La valeur moyenne de l'arsenic la plus élevée a été détectée dans les eaux de puits d'Abidjan ( $15,8 \pm 0,58$  µg/L). Concernant le plomb, les concentrations moyennes détectées dans les eaux de puits sont comprises entre  $1,5 \pm 0,28$  µg/L et  $9,5 \pm 0,42$  µg/L.



**Figure 23** : Valeurs moyennes d'arsenic des différents types d'eau des villes d'étude



**Figure 24:** Valeurs moyennes du plomb des différents types d'eau des villes d'étude

### Interprétation

Les résultats révèlent que certaines teneurs en arsenic sont supérieures à la valeur recommandée par l'OMS qui est de 10 µg/L. Concernant le plomb, toutes les valeurs obtenues dans les eaux de puits sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS (10 µg/L). La présence de l'arsenic et du plomb dans les eaux de puits, pourrait se justifier par les rejets des activités effectuées par les individus vivant à proximité de ces puits. En effet, les investigations effectuées dans les localités ont montré que les puits sont pour la plupart construits dans les habitats. Les travaux de **Rasheed et al. (2017)** et de **Zhang et al. (2019)** ont montré que la présence de l'arsenic et du plomb dans l'eau de puits serait liée aux rejets des activités anthropiques et d'autre part à l'érosion des sols.

## II.2. Paramètres microbiologiques

L'analyse microbiologique a concerné les germes aérobies mésophiles, les coliformes totaux, *Escherichia coli* et *Salmonella spp.* Les résultats sont consignés dans les tableaux suivants.

### II.2.1. Germes aérobies mésophiles

Les taux de GAM des différents types d'échantillons d'eau sont répertoriés dans le **Tableau XI**. L'analyse de ce tableau montre que 29,51 % des échantillons d'eau de puits sont contaminés par les germes GAM. Les taux de GAM quant à eux, sont compris entre  $4512 \pm 16$  UFC/ mL (Man) et  $9642 \pm 15$  UFC/ mL (Korhogo). Concernant les eaux stockées dans les ménages, 24,28 % des échantillons sont contaminés et le taux de GAM le plus élevé est

dénombré dans les échantillons d'eau stockée prélevée à Daloa ( $9851 \pm 22$  UFC/ mL). S'agissant des échantillons d'eau prélevée dans le réseau public, les taux de GAM oscillent entre  $391 \pm 13$  UFC/1 mL (Abidjan) et  $745 \pm 12$  UFC/mL (Korhogo). Quant aux eaux conditionnées, le pourcentage des échantillons contaminés par les germes GAM représente 15,70 % pour les eaux conditionnées de façon industrielle et 21,42 % pour les eaux conditionnées de façon artisanale.

**Tableau XI:** Valeurs moyennes des germes aérobies mésophiles (GAM) des eaux

Villes	Type d'eau	Niveau de contamination des échantillons (%)	Valeur moyenne (UFC/100 mL)
Korhogo	EP	26,66	9642 ± 15
	ER	16,66	452 ± 28
	ES	26,66	1842 ± 21
	ESA	16,66	542 ± 19
	ESI	16,66	369 ± 13
Bouaké	EP	33,33	1568 ± 24
	ER	13,33	612 ± 15
	ES	23,33	1025 ± 25
	ESA	20	712 ± 18
	ESI	13,33	418 ± 15
Daloa	EP	26,66	8512 ± 23
	ER	16,66	745 ± 12
	ES	23,33	9851 ± 22
	ESA	16,66	528 ± 15
	ESI	16,66	398 ± 18
Man	EP	26,66	4512 ± 16
	ER	0	< 1
	ES	23,33	1204 ± 21
	ESA	20	485 ± 14
	ESI	13,33	189 ± 16
Abengourou	EP	30	7815 ± 25
	ER	10	458 ± 18
	ES	26,66	7845 ± 21
	ESA	23,33	451 ± 17
	ESI	16,6	289 ± 21
San Pedro	EP	36,66	7841 ± 16
	ER	10	623 ± 28
	ES	23,33	1450 ± 11
	ESA	26,66	556 ± 24
	ESI	16,66	389 ± 14
Abidjan	EP	26,66	6261 ± 16
	ER	6,66	391 ± 13
	ES	23,33	6241 ± 21
	ESA	26,66	545 ± 18
	ESI	16,66	186 ± 19

## **Interprétation**

Une analyse en fonction des types d'eau montre que les échantillons les plus contaminés sont les échantillons d'eau de puits (29,51%) et les échantillons d'eau stockée dans les ménages (24,28 %). La contamination de ces eaux par les germes totaux pourrait être due à la manipulation lors de la collecte, du transport et du stockage de l'eau. Aussi, des infiltrations des eaux usées dans des puits. Les études d'**Ayad (2017)** ont montré que la présence des germes totaux dans les eaux est liée au manque d'hygiène et à l'insuffisance du traitement des eaux. De même **El-Haissoufi et al. (2011)**, ont révélé dans leurs travaux, que le dénombrement des germes totaux est utilisé comme un indicateur de pollution général et comme un indicateur d'efficacité de traitement. Selon **Verhille (2013)**, la numération des germes aérobies mésophiles vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable.

### **II.2.2. Coliformes totaux**

Les taux de coliformes totaux des échantillons d'eau prélevés dans les zones d'études sont répertoriés dans le Tableau **XII**. Les taux de coliformes totaux des échantillons d'eau de puits, oscillent entre  $845 \pm 20$  UFC/100 mL et  $1855 \pm 21$  UFC/100 mL. Le taux minimal des coliformes dénombré dans les échantillons d'eau du réseau public est de  $391 \pm 15$  et le taux maximal est de  $974 \pm 18$  (San-Pedro). S'agissant des échantillons d'eau stockée dans les ménages, les taux sont compris entre  $109 \pm 22$  UFC/100 mL et  $962 \pm 21$  UFC/100 mL. Le taux maximal des coliformes totaux des eaux conditionnées de façon artisanale et industrielle sont respectivement  $621 \pm 14$  UFC/100 mL et  $471 \pm 17$  UFC/100 mL. Une analyse en fonction des types d'eau montre que les échantillons les plus contaminés sont les échantillons d'eau de puits et l'eau stockée dans les ménages. Par contre en fonction des régions, des villes dont les échantillons sont plus contaminés sont San - Pedro, Abengourou et Daloa.

**Tableau XII:** Valeurs moyennes des coliformes totaux des eaux de consommation

Villes	Types d'eau	Niveau de contamination	Valeurs moyennes (UFC/100 mL )
<b>Korhogo</b>	EP	23,33	925± 25
	ER	0	<1
	ES	26,66	841± 16
	ESA	16,66	510 ± 26
	ESI	6,66	420 ± 18
<b>Bouaké</b>	EP	26,66	1551± 23
	ER	10	391 ± 15
	ES	23,33	681± 18
	ESA	20	414± 12
	ESI	16,66	185± 24
<b>Daloa</b>	EP	23,33	1794 ± 17
	ER	13,33	651± 15
	ES	16,66	109± 22
	ESA	16,66	621±14
	ESI	0	< 1
<b>Man</b>	EP	16,66	1228 ± 16
	ER	0	< 1
	ES	20	629 ± 14
	ESA	16,66	451± 12
	ESI	6,66	212± 15
<b>Abengourou</b>	EP	23,33	9120 ±16
	ER	0	< 1 -
	ES	16,66	895 ± 14
	ESA	20	451± 18
	ESI	0	< 1 -
<b>San- Pedro</b>	EP	26,66	1855± 21
	ER	16,66	974 ± 18
	ES	16,66	741± 12,4
	ESA	20	458 ± 12
	ESI	16,66	471± 17
<b>Abidjan</b>	EP	23,33	845±20
	ER	0	< 1
	ES	23,33	962± 21
	ESA	13,33	451± 12
	ESI	16,6	147± 14,5

### II.2.3. *Escherichia coli*

Les taux d'*Escherichia coli* ont été répertoriés dans le **Tableau XIII**. Les taux d'*Escherichia coli* des échantillons d'eau de puits variaient entre  $90 \pm 28$  UFC/100 mL et  $957 \pm$  UFC/100 mL. Concernant les eaux du réseau public, *Escherichia coli* est dénombré dans les eaux du réseau public de Korhogo et San-Pedro. Les taux d'*Escherichia coli* des échantillons d'eau stockée dans les ménages des villes de Korhogo, Daloa, Bouaké, Abengourou et San-Pedro sont compris entre  $110 \pm 12$  UFC/100 mL et  $694 \pm 18$  UFC/100 mL. Cependant, dans les échantillons d'eau stockée des villes de Man et d'Abidjan, aucune présence d'*Escherichia coli* n'a été observée. Les taux d'*Escherichia coli* dans les échantillons d'eau conditionnée de façon artisanale varient entre  $90 \pm 28$  UFC/100 mL et  $490 \pm 25$  UFC/100 mL. *Escherichia coli* a été dénombrée seulement dans les eaux semi-industrielles de San-Pedro ( $502 \pm 17$  UFC/100 mL) et de Korhogo ( $684 \pm 22$  UFC/100 mL).

**Tableau XIII:** Valeurs moyennes d'*Escherichia coli* des eaux de consommation

Villes	Types d'eau	Niveau de contamination	Valeurs moyennes (UFC/100 mL)
<b>Korhogo</b>	EP	23,33	410 ± 22
	ER	6,66	212 ± 18
	ES	16,66	110 ± 12
	ESA	0	< 1
	ESI	16,66	684 ± 22
<b>Bouaké</b>	EP	16,66	902 ± 13
	ER	0	< 1
	ES	23,33	504 ± 15
	ESA	16,66	90 ± 28
	ESI	0	< 1
<b>Daloa</b>	EP	16,66	918 ± 44
	ER	0	< 1
	ES	16,66	694 ± 18
	ESA	16,66	485 ± 10
	ESI	0	< 1
<b>Man</b>	EP	16,66	795 ± 18
	ER	0	< 1
	ES	0	< 1
	ESA	0	< 1
	ESI	0	< 1
<b>Abengourou</b>	EP	23,33	651 ± 21
	ER	0	< 1
	ES	16,66	451 ± 15
	ESA	0	< 1
	ESI	0	< 1
<b>San- Pedro</b>	EP	26,66	957 ± 19
	ER	16,66	411 ± 63
	ES	6,66	528 ± 18
	ESA	16,66	490 ± 25
	ESI	6,66	502 ± 17
<b>Abidjan</b>	EP	23,33	851 ± 25
	ER	0	< 1
	ES	0	< 1
	ESA	0	< 1
	ESI	0	< 1

## Interprétation

L'analyse du **Tableau XII** et **XIII** montre que les taux coliformes totaux des échantillons d'eau prélevés dans les zones d'études sont compris entre  $391 \pm 15$  UFC/100 mL et  $9120 \pm 16$  UFC/100 mL. Les taux des germes d'*Escherichia coli* varient entre  $90 \pm 28$  UFC/100 mL et  $957 \pm$  UFC/100 mL. Ces taux sont supérieurs au critère microbiologique défini par l'OMS qui est de 0 UFC/100 mL. Les résultats des analyses révèlent que les échantillons d'eau de puits et les eaux stockées dans les ménages sont plus contaminés que les échantillons des autres types d'eau. La prolifération de ces bactéries dans les eaux stockées dans les ménages pourrait être due à l'évaporation progressive en chlore résiduel au cours du stockage. En effet, le chlore empêche la prolifération de la plupart des microorganismes pathogènes (**Belghiti et al., 2013**). Son absence dans les eaux entraînerait la prolifération des microorganismes pathogènes (**Murray et Lantagne, 2015**). En outre, la prolifération de ces bactéries dans les eaux stockées serait liée aux conditions de stockage car ces eaux sont souvent en contact avec la main lors de son prélèvement. En effet, plusieurs pratiques ne respectent pas les conditions d'hygiène et pourraient être responsables de la prolifération de ces bactéries. Des études similaires au stockage de l'eau ont mentionné que le stockage de l'eau favorise la détérioration de sa qualité microbiologique par la prolifération des bactéries et augmente les risques sanitaires (**Odoulami, 2009, Hounsounou et al., 2016**). Les niveaux de contamination par les coliformes totaux (26,5 %) et *Escherichia Coli* (22, 12 %) obtenus dans les échantillons d'eau prélevée dans les zones étudiées sont moins élevés que ceux de **Kouakou-Sackoul et al. (2012)**. Ces auteurs avaient estimé que les niveaux de contamination des eaux stockées dans les ménages par des coliformes totaux et d'*Escherichia coli* sont respectivement 81 % et 42,5 %. Ceux-ci ont montré que la mauvaise qualité des eaux stockées était à rapprocher de l'absence de désinfectant et les conditions de stockage de l'eau. S'agissant des échantillons d'eau de puits, la présence des bactéries pourrait être due aux infiltrations des eaux usées domestiques et les activités menées à proximité de ces puits. En fait, les enquêtes effectuées dans les zones d'études ont révélé que les puits sont construits dans les lieux d'habitation et ces puits peuvent recevoir les rejets des activités menées par ces habitants. Selon **Benajiba et al. (2013)**, la contamination des eaux souterraines pourrait être liée à l'infiltration des eaux usées domestiques et aux activités anthropiques. En Côte d'Ivoire, d'autres auteurs ont évoqué la contamination des eaux souterraines par les coliformes totaux et *Escherichia coli* (**Yapo et al., 2010 ; Aka et al., 2013 ; Ouattara et al. ; 2016**). En outre, la présence des Coliformes totaux et les *Escherichia coli* dans les différents types d'eau

témoigne d'une contamination d'origine fécale et d'une présence possible des germes pathogènes (El-Ziney et Turki , 2007 et Degbey et *al.*, 2011).

#### **II.2.4. *Salmonella***

Les niveaux de contamination et les charges de la bactérie de la *salmonella* sont répertoriés dans le **tableau XIV**. Il apparait clairement que les eaux du réseau public, les eaux stockées dans les ménages, les eaux conditionnées de manière artisanale et industrielle ne sont pas contaminées par la *salmonella spp.* Par contre elle est dénombrée dans les eaux de puits des villes de Korhogo et San-Pedro.

**Tableau XIV:** Valeurs moyennes de la *salmonella spp*

Villes	Types d'eau	Niveau de contamination	Valeurs moyennes (UFC/100 mL)
<b>Korhogo</b>	EP	6,66	+
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-
<b>Bouaké</b>	EP	0	-
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-
<b>Daloa</b>	EP	0	-
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-
<b>Man</b>	EP	0	-
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-
<b>Abengourou</b>	EP	0	-
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-
<b>San- Pedro</b>	EP	16,66	+
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-
<b>Abidjan</b>	EP	0	-
	ER	0	-
	ES	0	-
	ESA	0	-
	ESI	0	-

## Interprétation

Les analyses ont montré que seuls les échantillons d'eau de puits des villes de Korhogo et San-Pedro sont contaminés. On note que 6,66 % des échantillons d'eau de puits de Korhogo et 16,6 % des échantillons d'eau de puits de San-Pedro sont contaminés par *Salmonella spp.* Soit 2 à 5 sources sur 30 puits sont contaminées. La présence de la *Salmonella* dans les échantillons d'eau de puits atteste la non-conformité à la réglementation de l'OMS qui recommande leur absence dans 100 mL d'eau analysée. La présence de ces germes serait lié au ruissellement des eaux contenant des déjections humaines et animales dans les puits. Les taux de contamination des échantillons d'eau des puits des villes de Korhogo et San-Pedro sont inférieurs à ceux d'**Hounsounou et al. (2018)**, qui ont détecté 45 % des germes de *Salmonella* dans les eaux de puits dans les quartiers précaires du sixième arrondissement de Cotonou. Selon **Rodier et al. (2009)**, les déjections des animaux et des humaines constituent la principale source de prolifération des salmonelles, car les hommes et les animaux les éliminent par les selles non seulement en cas de maladie, mais aussi en tant que porteurs asymptomatiques. Par ailleurs, les travaux de **Momba et al. (2006)**, ont souligné que les salmonelles sont généralement transmises aux humains par l'ingestion d'eau contaminée et sont responsables de la salmonellose qui désigne la fièvre typhoïde, les fièvres paratyphoïdes et les salmonelloses non typhoïdiques.

## Conclusion partielle

La qualité des eaux du réseau public, des eaux de puits, des eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées des villes de Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, Abengourou, San-Pedro et Abidjan, a pu être appréciée à travers la détermination des paramètres physico-chimiques et microbiologiques. Les analyses ont révélé que le pH des différents types d'eau varie entre  $5,5 \pm 0,28$  et  $7,5 \pm 0,41$ . Ces pH sont pour la plupart acides. Les analyses attestent que les eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées sont moins chlorées que les eaux produites par le réseau public. L'absence du chlore résiduel dans les eaux a été un facteur important pour expliquer la prolifération des microorganismes dans ces eaux. Concernant les éléments traces métalliques, les teneurs en cadmium des différents types d'eau de consommations sont inférieures à la limite de détection de l'appareil de mesure. Cependant, l'arsenic et le plomb ont été seulement détectés dans les eaux de puits. Les valeurs moyennes d'arsenic des eaux de puits des villes de San-Pedro (15 µg/L) et d'Abidjan (13,5 µg/L) ne sont pas conformes à la recommandation de l'OMS (10 µg/L). Les analyses concernant le plomb laissent entrevoir

que les concentrations du plomb des eaux de puits des zones investiguées varient entre  $1,5 \pm 0,28 \mu\text{g/L}$  et  $9,5 \pm 0,42 \mu\text{g/L}$ . Les teneurs en nitrate des eaux de puits des villes de Daloa ( $55,8 \pm 0,48 \text{ mg/L}$ ), de San-Pedro ( $52,5 \pm \text{ mg/L}$ ) et d'Abidjan ( $59,8 \pm 0,89 \text{ mg/L}$ ) sont supérieures à la valeur recommandée par l'OMS qui est de  $50 \text{ mg/L}$ . Les valeurs moyennes du fluorure obtenues dans les différents types d'eau sont conformes à  $1,5 \text{ mg/L}$  recommandée par l'OMS. En somme, les analyses chimiques effectuées ont montré que les eaux de puits ne sont pas de bonne qualité. Aussi, l'absence du chlore résiduel dans les eaux stockées et ensachées pourrait entraîner la prolifération des microorganismes dans ces eaux. Concernant la qualité microbiologique, les germes totaux, les coliformes totaux et *Escherichia coli* sont dénombrés dans les différents types d'eau de consommation. Par contre, *Salmonella spp* sont dénombrés seulement dans les eaux de puits de Korhogo et de San-Pedro. Une analyse effectuée au niveau des types d'eau a révélé que les eaux de puits et les eaux stockées dans les ménages sont plus contaminées que les eaux du réseau public et les eaux ensachées. Les résultats des analyses ont montré que les eaux de puits et les eaux stockées ne respectent pas les valeurs recommandées par l'OMS. De même, au niveau microbiologique, ces eaux ne sont pas conformes aux critères de qualité microbiologique.

---

## CHAPITRE III : EVALUATION DU RISQUE

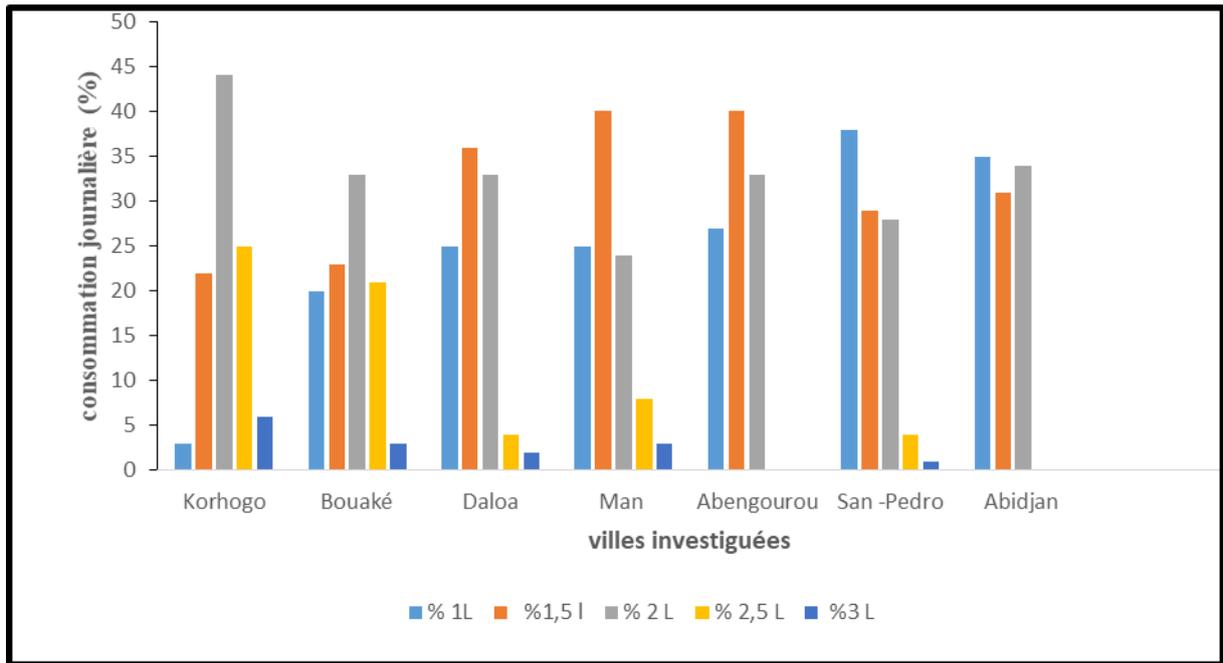
---

### Introduction

L'analyse chimique microbiologique a révélé des substances chimiques indésirables, toxiques et des microorganismes. La consommation de ces paramètres à des quantités supérieures à la DJA, DJT ou dose infectieuse peut avoir des effets néfastes sur la santé. Il est donc impérieux d'évaluer les risques microbiologiques et chimiques liés à la consommation de l'eau dans ces sept régions de la Côte d'Ivoire. En effet, le calcul du risque prend en compte les paramètres tels que la quantité d'eau consommée, le poids corporel des individus, la fréquence de consommation et les concentrations des dangers concernés.

#### III.1. Distribution de la consommation journalière d'eau par la population

L'enquête de consommation effectuée auprès des populations a permis d'établir un diagramme de distribution de consommation journalière d'eau des villes d'étude. La consommation journalière de l'eau par la population est présentée par la **Figure 25**. L'analyse de cette figure montre que la distribution de la consommation journalière d'eau varie de 1 L à 3 L. Il en ressort que les gros consommateurs de 3 L d'eau par jour sont les populations des villes de Bouaké, Daloa, Man et San Pedro. Il faut noter que les consommations journalières maximales pour les villes de Korhogo, Bouaké, Daloa, Man, et San-Pedro ne sont pas conformes aux recommandations de l'OMS (1,5 à 2 L). Néanmoins celles d'Abengourou et Abidjan en sont.



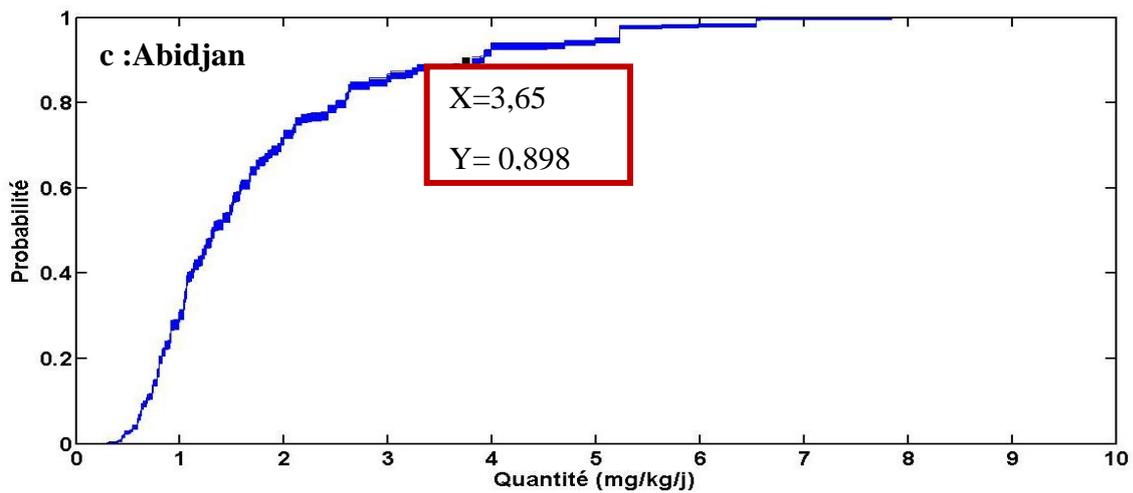
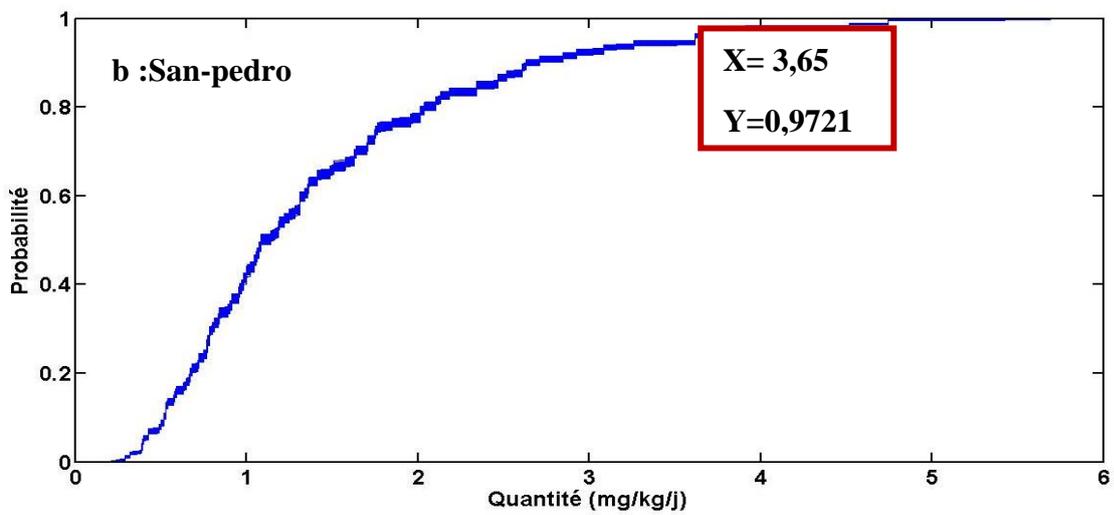
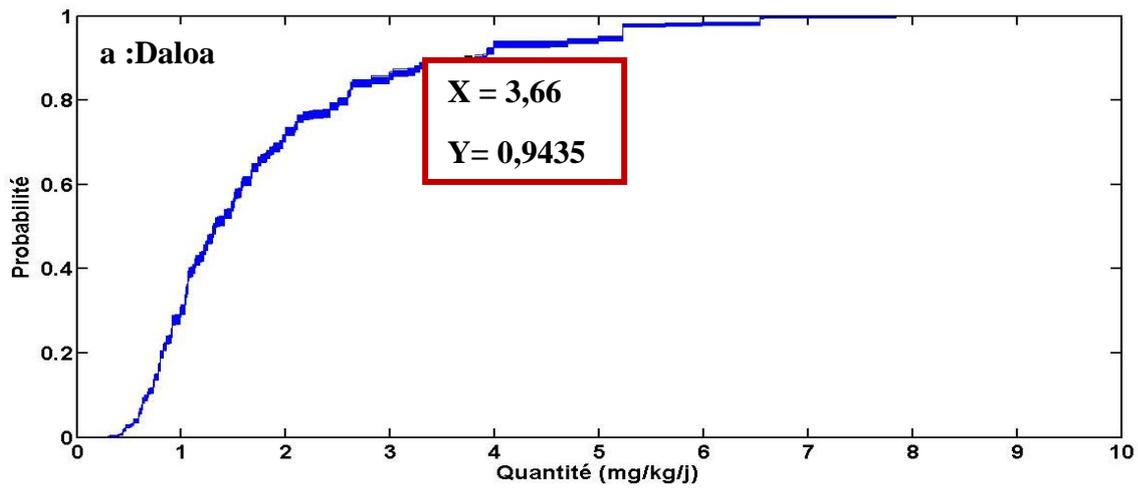
**Figure 25 :** Distribution de la consommation journalière d'eau par la population

### III.2. Evaluation du risque chimique lié aux substances chimiques

#### III.2.1. Evaluation du risque lié à l'ingestion du nitrate contenu dans les eaux de puits

Les fonctions de densités cumulatives du nitrate des villes de Daloa, de San-Pedro et d'Abidjan sont illustrées par la **Figure 26**. Les figures 26 a, 26 b et 26 c décrivent les probabilités d'ingestion du nitrate contenu dans les eaux de puits respectivement dans les villes de Daloa, de San-Pedro et d'Abidjan. Les stimulations par la méthode de Monte Carlo montrent que les probabilités d'ingérer le nitrate à des doses inférieures ou égales à 3,65 mg/kg/j (DJA) sont de 89,8%, 94,35% et 98,75% respectivement à San-Pedro, à Daloa et à Abidjan. Par contre, les probabilités de consommer le nitrate à des doses supérieures à la DJA sont de 1,25 % (San Pedro), de 5,65 % (Daloa) et de 10,2 % (Abidjan). Pour une estimation de 100 000 habitants, les risques liés à l'ingestion du nitrate contenu dans les eaux de puits de Daloa, de San Pedro et d'Abidjan sont respectivement de 5650, de 1250 et de 10200.

La projection de la DJA (nitrate) sur les fonctions de densités cumulées indique que 100% de la population investiguée ingère des quantités de nitrate contenues dans les eaux du réseau public, les eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées à des doses inférieures à la DJA.



Avec Y : Probabilité et X : DJA

**Figure 26:** Risque lié à l'ingestion du nitrate due à l'eau de puits d'Abidjan selon la simulation de type Monte Carlo

## Interprétation

La stimulation de Monte Carlo a permis d'estimer le risque sanitaire lié à la consommation des différents types d'eau dans sept localités de la Côte d'Ivoire. Les probabilités d'ingérer le nitrate à des doses inférieures ou égales à 3,65 mg/kg/j (DJA) sont de 89,8% ; 94,35% et 98,75% respectivement à San-Pedro, à Daloa et à Abidjan. Ces probabilités soulignent que pour 100000 habitants, près de 8980 à 98780 n'observeront pas le risque de la méthémoglobinémie chez les nourrissons ou le cancer suite à l'ingestion de l'eau de puits.

Par contre, pour 100000 personnes, entre 5650 et 10200 individus observeront les risques liés au nitrate suite à l'ingestion de l'eau du puits.

La probabilité d'ingérer le nitrate à des doses supérieures à la DJA observée dans ces zones pourrait être due à la quantité de nitrate ingérée suite à la consommation de l'eau de puits. D'ailleurs nos résultats concernant la qualité de l'eau de puits de Daloa, San Pedro et Abidjan ont révélé des teneurs de nitrate supérieures à la valeur limite recommandée par l'OMS. Ceci justifierait les fortes proportions des individus exposés au risque lié à l'ingestion du nitrate. Des études similaires menées par **Gnagne et al. (2013)** et **Ahoussi et al. (2017)** à Abidjan ont révélé des teneurs en nitrate élevées dans les eaux de puits.

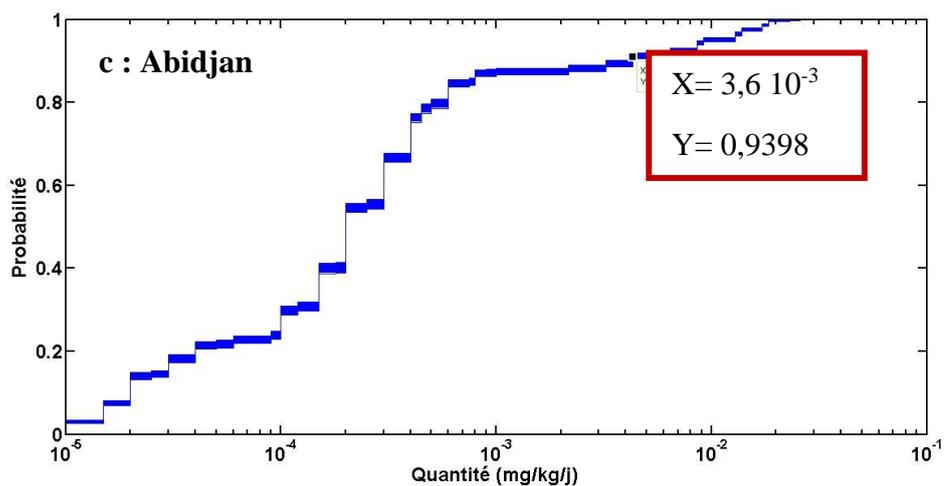
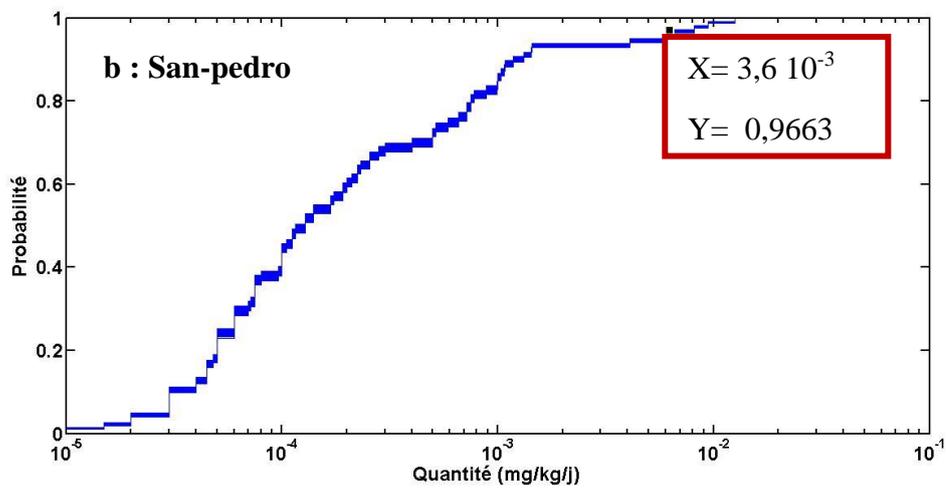
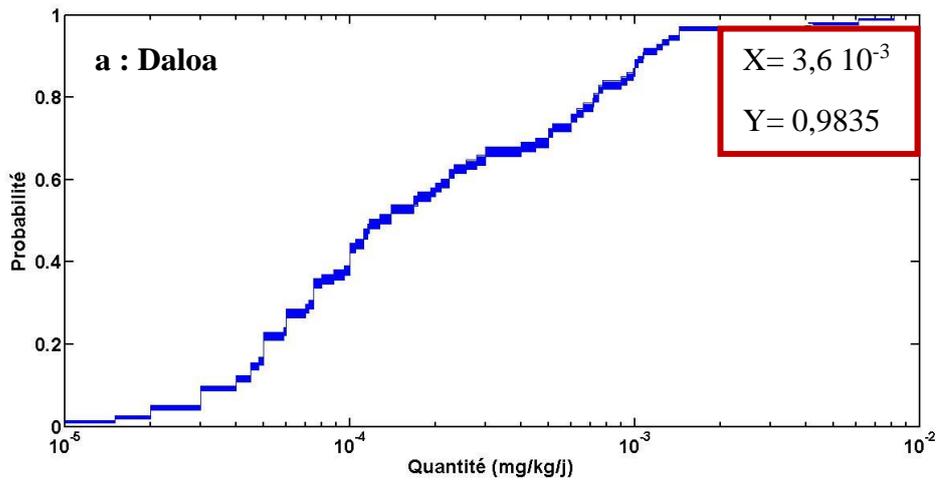
Le risque sanitaire lié à l'ingestion du nitrate à des doses supérieures a été évoqué par **Espejo-Herrera et al. (2015)** et **Ward et al. (2018)**. Ces auteurs ont montré qu'il existe une relation entre l'ingestion du nitrate en excès et le risque de la méthémoglobinémie et du cancer. À cet effet, l'ingestion du nitrate à des doses supérieures à la DJA exposerait des habitants de Daloa, San Pedro et Abidjan consommateurs des eaux de puits à des risques de la méthémoglobinémie et du cancer.

### III.2.2. Evaluation du risque lié à l'ingestion du plomb suite à la consommation de l'eau de puits

Etant donnée que les taux du plomb dans les eaux de robinet, les eaux stockées et les eaux conditionnées sont inférieures à la limite de détection, l'étude du risque concernant le plomb se concentrera sur l'eau de puits.

La **Figure 27** présente les fonctions des densités cumulées du plomb suite à la consommation des eaux de puits. Les figures 27 a, 27 b, et 27 c décrivent les probabilités d'ingérer une quantité de plomb contenu dans les eaux de puits de Daloa, de San Pedro et d'Abidjan. La projection de la DJT sur les fonctions cumulées, indique que, les probabilités d'ingérer le plomb à des doses inférieures ou égales à la dose journalière de tolérance (DJT) ( $3,6 \cdot 10^{-3}$  mg/kg/j) sont 93, 99 % (Abidjan), 96,63 % (Daloa) et 98,35 % (San -Pedro). Ainsi, les

probabilités d'ingérer le plomb à des doses supérieures à la DJT sont 1,65 % (San Pedro), 3,37 % (Daloa) et 6,02 % (Abidjan). On estime que sur 100 000 habitants, les risques liés à l'ingestion du plomb suite à la consommation des eaux de puits de San Pedro de Daloa et d'Abidjan sont respectivement de 1650, 3370 et 6020.



Avec X : DJT et Y : Probabilité

**Figure 27:** Risque lié à la consommation du plomb due à l'eau de puits selon la simulation de type Monte Carlo

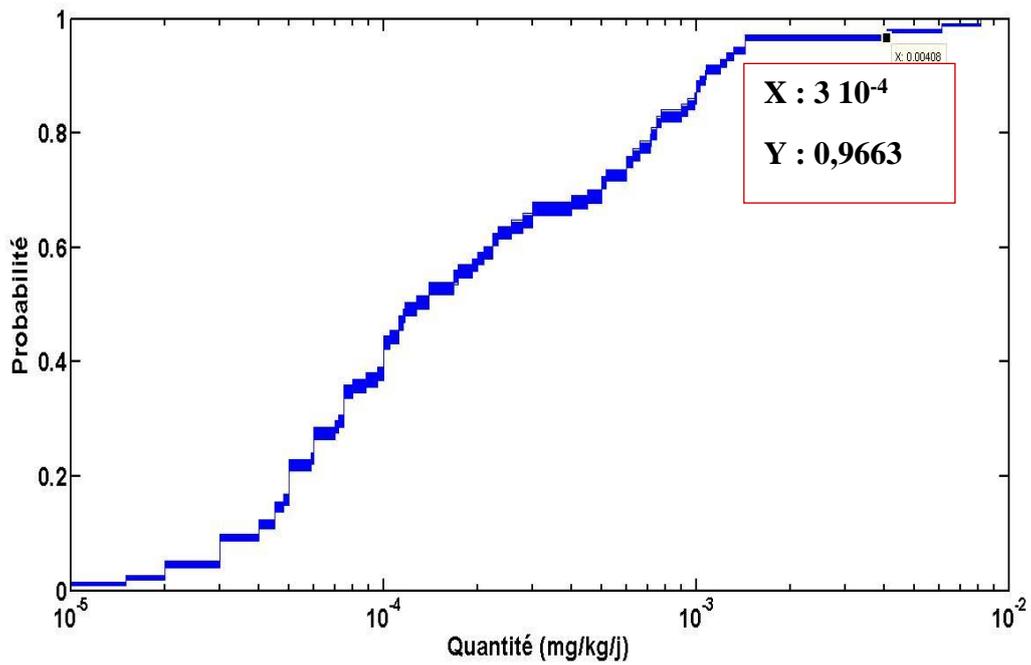
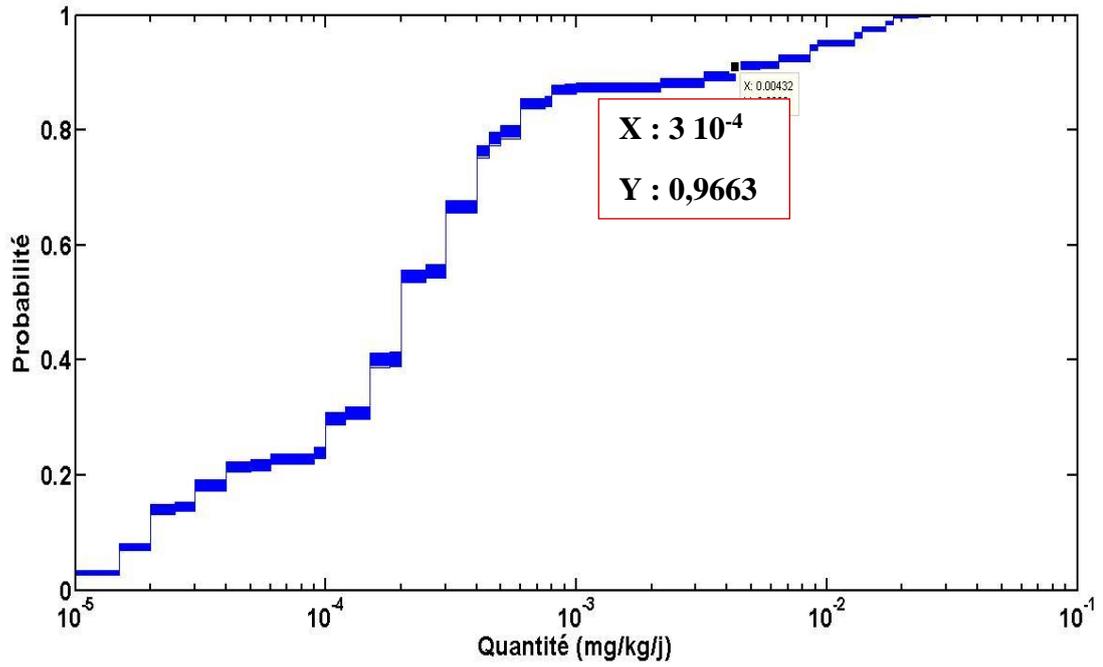
## Interprétation

La simulation par la méthode de Monte Carlo révèle que les probabilités d'ingérer le plomb à des doses inférieures ou égales à la DJT ( $3,6 \cdot 10^3$  mg/kg/j) sont 93,99 % (Abidjan), 96,63 % (Daloa) et 98,35 % (San-Pedro). Cela sous-entend que pour 100 000 habitants près de 93990 à 98350 n'observeront pas le risque lié à l'ingestion du plomb suite à la consommation de l'eau de puits. Par contre, sur 100 000 habitants des villes de Daloa, San Pedro et Abidjan, entre 1650 à 6020 consommateurs des eaux de puits observeront les risques liés à l'ingestion du plomb. Les habitants d'Abidjan s'exposeront plus aux risques liés à l'ingestion du plomb. D'ailleurs, nos résultats sur la qualité des eaux de puits ont révélé que la teneur moyenne en plomb détectée dans les eaux de puits de la ville d'Abidjan était plus élevée que celle obtenue dans les eaux de puits des villes de Daloa et de San-Pedro. Ceci justifie le risque lié à l'ingestion du plomb élevé qu'observeront les habitants de la ville d'Abidjan. Des études similaires à l'exposition au plomb réalisées par **Tanouayi et al. (2015)**, sur les eaux souterraines au Togo ont également révélé des doses journalières d'exposition au plomb (DJE) supérieures à la DJT. Selon ces auteurs, l'exposition de la population au plomb serait liée aux activités anthropiques et des eaux qui ne suivent pas de traitement préalable avant leur consommation.

### III.2.3. Evaluation du risque lié à la consommation de l'arsenic

**La Figure 28** présente les fonctions de densité cumulée de l'arsenic dû à la consommation des eaux de puits. Ces fonctions de densité décrivent les probabilités d'ingérer des doses d'arsenic. Les simulations de Monte Carlo révèlent que les populations de Korhogo, Bouaké, Daloa, Man et Abengourou ingèrent l'arsenic à des doses inférieures à la DJT. Cependant, les populations des villes de San-Pedro et d'Abidjan ingèrent des quantités de l'arsenic à des doses supérieures à la DJT.

La projection de la DJT sur les fonctions de densités montre que les probabilités d'ingérer de l'arsenic à une dose inférieure ou égale à la DJT ( $310^{-4}$  mg/kg/j) est de 95,58% (Abidjan) et de 98,25% (San-Pedro). Par contre, les probabilités d'ingérer de l'arsenic à des doses supérieures à la DJT sont de 1,75 % (San-Pedro) et 4,42% (Abidjan). Pour 100 000 habitants, les risques liés à l'ingestion de l'arsenic à la suite de la consommation des eaux de puits sont de 1750 (San-Pedro) et 4420 (Abidjan).



**Figure 28:** Risque lié à la consommation de l'arsenic du à l'eau de puits selon la simulation de type Monte Carlo

### **Interprétation**

L'analyse de la figure indique que pour 100 000 habitants des villes de San-Pedro et d'Abidjan consommant de l'eau de puits, entre 1750 et 4420 sont exposés aux risques sanitaires dus à la présence de l'arsenic. La probabilité de consommer de l'arsenic à des doses supérieures pourrait se justifier par les teneurs élevées d'arsenic obtenues dans les eaux de puits des villes de San-Pedro et d'Abidjan ainsi que la fréquence de consommation de l'eau de puits. Des études similaires à l'exposition de l'arsenic ont été réalisées par **Rasheed et al. (2017)**. Ces auteurs ont déterminé des doses de l'arsenic dans les eaux souterraines supérieures à la DJT. Ils ont souligné que les populations qui consommaient de l'arsenic à des doses supérieures à la DJT étaient exposées à des risques sanitaires. Ainsi, les populations des villes de San-Pedro et d'Abidjan qui consomment de l'arsenic à des doses supérieures à la DJT sont également exposées à des risques sanitaires. Selon **Rasool et al. (2016)**, l'intoxication d'arsenic se manifeste par des troubles gastro-intestinaux plus ou moins accentués, les troubles hépatiques et rénaux et les manifestations cardiovasculaires, hypertension et tachycardie. .

### **Conclusion partielle**

La simulation de Monte Carlo a permis d'estimer le risque sanitaire lié à la consommation des différents types d'eau dans sept localités de la Côte d'Ivoire. Les résultats ont montré que les probabilités de consommer le nitrate à des doses supérieures à la DJA sont de 5,65% à Daloa, 1,25 % à San Pedro et 10,2% à Abidjan. Par contre, la consommation des eaux du réseau public, eaux stockées dans les ménages et eaux ensachées, représente des doses en nitrate inférieures à la DJA. S'agissant du plomb, pour 100 000 habitants, des villes de Daloa, de San-Pedro et d'Abidjan, des populations consomment le plomb à des doses respectivement de 3370, 1650 et 6020 supérieures à la DJT. De même, les stimulations de Monte Carlo ont indiqué que la probabilité d'ingérer de l'arsenic à des doses supérieures à la DJT est de 1,75 % à San-Pedro et 4,42% à Abidjan.

---

## CHAPITRE IV : PROPOSITION POUR LA GESTION DES RISQUES LIÉS À LA CONSOMMATION DE L'EAU

---

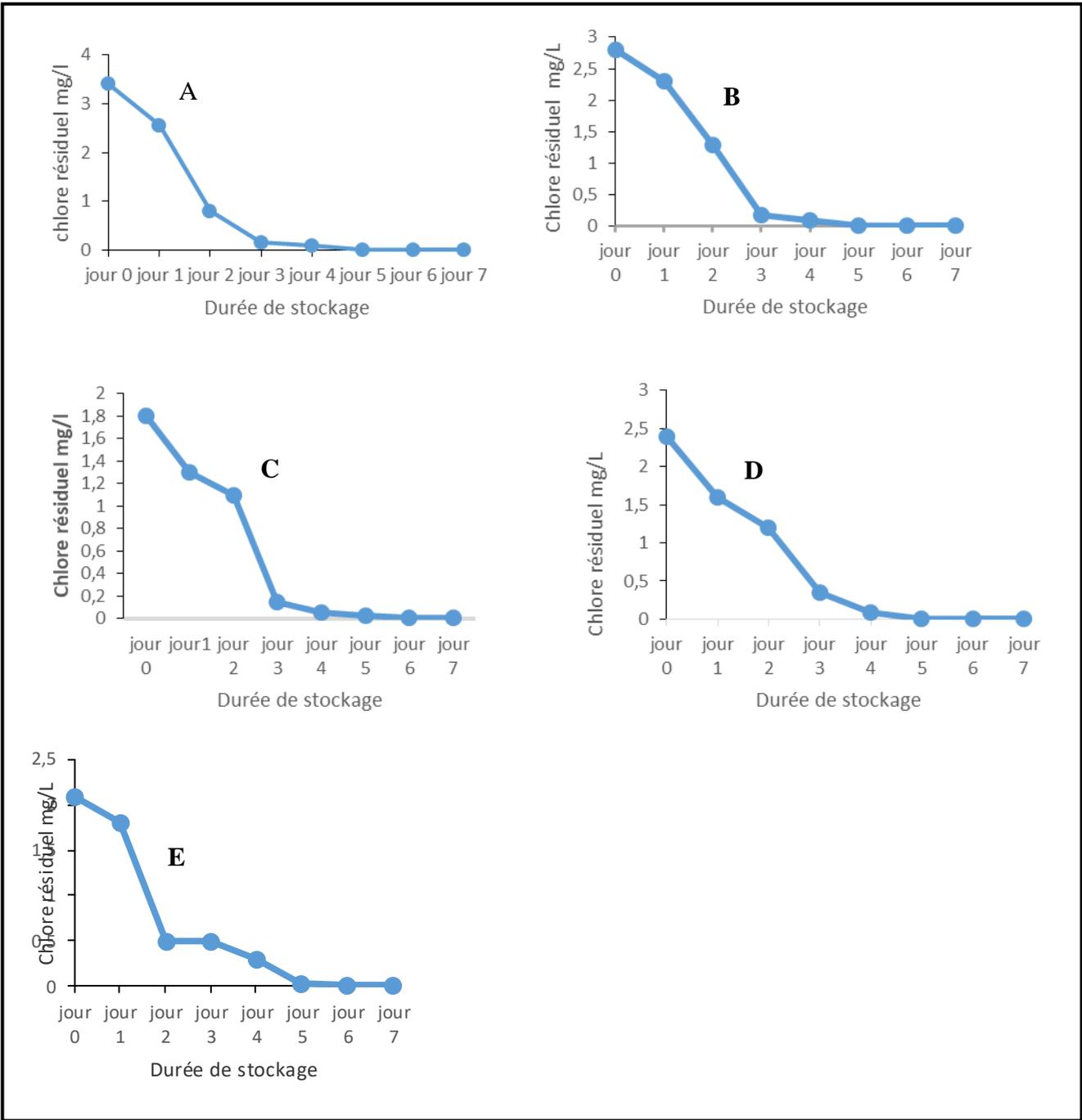
### Introduction

Les analyses effectuées ont montré que les eaux de puits et les eaux stockées dans les ménages sont de mauvaise qualité. La consommation de ces eaux pourrait avoir des effets néfastes sur la santé. La quatrième partie est consacrée à la proposition des solutions adéquates pour réduire le risque sanitaire lié à la consommation des eaux de puits et des eaux stockées dans les ménages. La gestion du risque lié à la consommation des eaux stockées dans les ménages et des eaux de puits a consisté à la détermination de la durée adéquate de stockage de l'eau dans les ménages.

### IV. Détermination de la durée de stockage

#### IV.1. Suivi du chlore résiduel des eaux stockées dans les ménages

La **Figure 29** indique l'évolution des concentrations du chlore résiduel en fonction de la durée de stockage de l'eau dans les ménages. L'analyse de la figure montre qu'entre le jour du prélèvement (jour 0) et le deuxième jour (jour 2), les teneurs en chlore résiduel contenues dans des eaux stockées dans les ménages (A, B, C, D, E) varient de 0,47 mg/L à 3,4 mg/L. À partir du troisième jour, les teneurs en chlore résiduel obtenus dans les eaux stockées des récipients A, B et E sont inférieures à 0,2 mg/L. Concernant le ménage D, la teneur en chlore enregistrée dans les eaux stockées dans le récipient D du ménage D est supérieure à 0,2 mg/L.



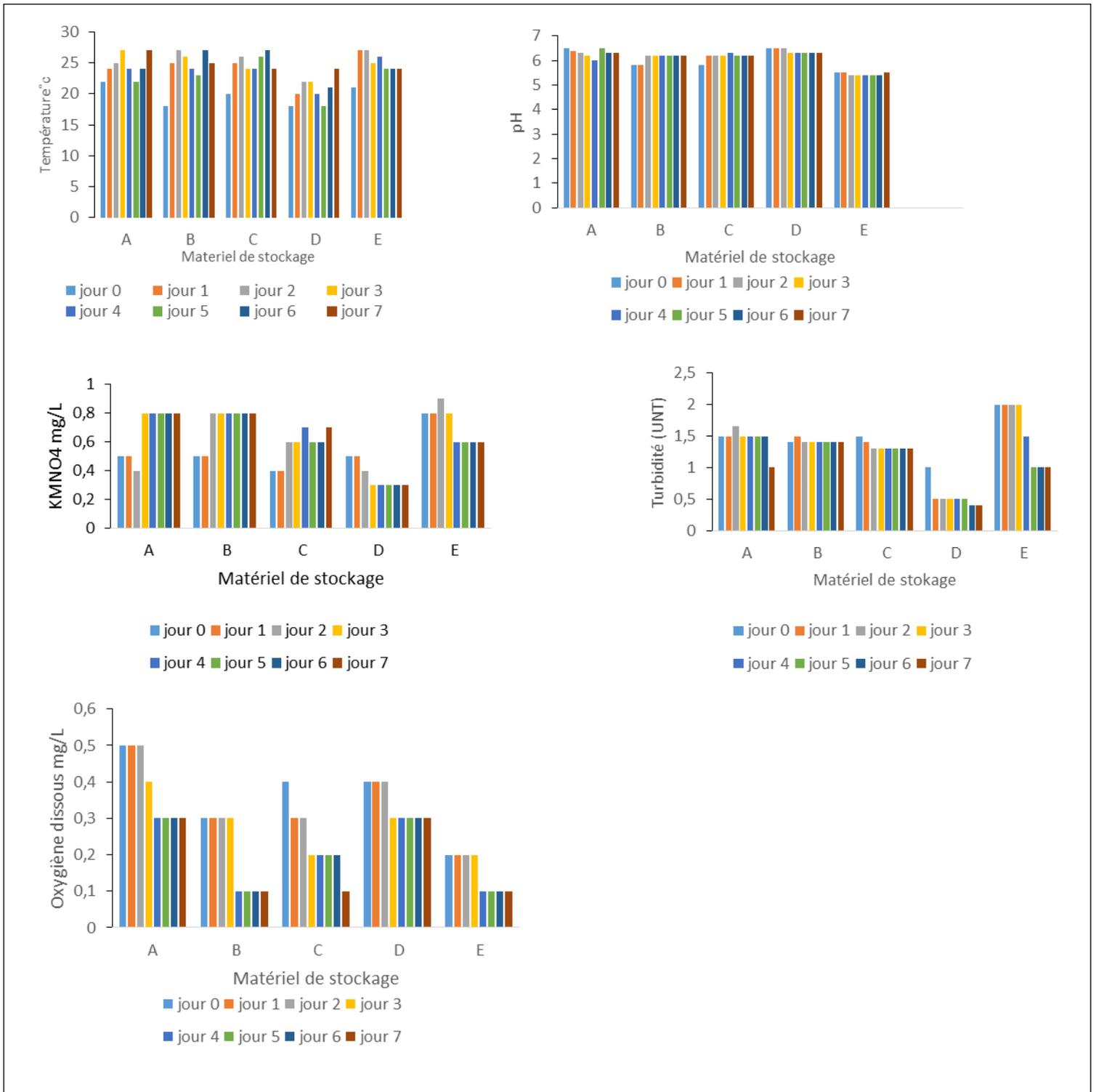
**Figure 29:** Teneurs en chlore résiduel en fonction de la durée de stockage d'eau dans les ménages (A, B, C, D Et E)

## Interprétation

L'analyse de la figure montre que, entre le jour du prélèvement et le deuxième jour (jour 2), les teneurs en chlore résiduel sont conformes à la valeur- limite recommandée par l'OMS qui est de 0,2 mg/L. L'analyse de cette figure laisse entrevoir que les teneurs en chlore diminuent progressivement en fonction de la durée de stockage. Cette diminution progressive des teneurs en chlore résiduel serait due à l'évaporation du chlore résiduel au cours du stockage de l'eau. Lors du prélèvement, le chlore est en contact avec l'air. Le chlore étant un gaz, il peut s'évaporer en contact avec l'air. Le récipient D du ménage D conserve plus longtemps le chlore résiduel ; en effet, le récipient D est conçu avec un robinet, que l'on ouvre pour le prélèvement. Des études similaires au stockage de l'eau effectuées par **Kouakou-Sackoul et al. (2012)**, ont montré des faibles valeurs de chlore résiduel dans les eaux stockées dans les ménages ; ceux-ci affirment que l'évaporation du chlore entraîne la prolifération bactérienne. La diminution du chlore résiduel entraînera donc la prolifération des microorganismes dans les eaux.

### IV.2. Paramètres chimiques des eaux stockées A,B,C,D et E

La **Figure 30** décrit les valeurs des paramètres chimiques analysés dans des eaux stockées dans les ménages A, B, C, D et E. Les pH des eaux stockées dans les ménages A, B, C, D et E varient entre 5,8 et 6,8. Les pH des eaux stockées dans les ménages ne varient pas en fonction de la durée de stockage. Concernant les températures, elles oscillent entre 18 et 27 °C. Ces températures ne varient pas en fonction de la durée de stockage. Les valeurs de la turbidité sont comprises entre 0,4 et 2 NTU. Les turbidités des eaux stockées diminution progressivement en fonction de la durée de stockage. Les valeurs de l'indice de permanganate varient entre 0,8 et 0,1 mg/L. Les concentrations de l'indice de permanganate ne varient pas en fonction de la durée de stockage d'eau. Ces concentrations sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS pour l'eau de consommation ( $\leq 5$  mg/L). Quant à l'oxygène dissous, du premier jour (jour 0) du prélèvement d'eau au septième jour (jour 7), les concentrations varient entre 0,0 et 0,5 mg/L. Ces valeurs diminuent progressivement en fonction de la durée de stockage. Les concentrations de l'oxygène obtenues dans les eaux stockées ne sont pas conformes aux recommandations de l'OMS qui sont (5-8 mg/L).



**Figure 30:** Quelques paramètres physico-chimiques des eaux stockées dans les ménages A, B, C, D et E

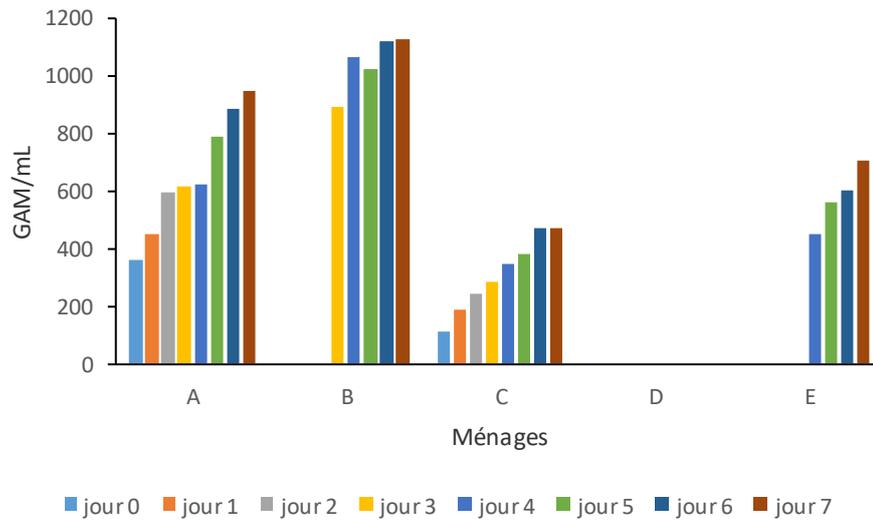
## **Interprétation**

L'analyse des données montre que les valeurs des pH et de la température ne varient pas en fonction de la durée de stockage de l'eau. Cela montre que, la durée de stockage n'influence pas le pH et la température de l'eau. Contrairement au pH et la température, l'oxygène dissous et la turbidité diminuent de manière progressive en fonction de la durée de stockage de l'eau. La diminution de l'oxygène dissous serait liée à des fortes températures obtenues dans les eaux stockées (**Batoul, 2018**). En effet, les températures obtenues sont comprises entre 18 et 27°C. Selon **Belghiti et al. (2013)**, une eau froide contient une plus grande quantité d'oxygène dissous qu'une eau chaude. La diminution de l'oxygène au cours du stockage atteste que la durée de stockage est un facteur qui influence l'oxygène dissous. Concernant la turbidité, sa diminution pourrait s'expliquer par un dépôt des composés organiques ou inorganiques au cours du stockage de l'eau. Il ressort de ces analyses que les valeurs de l'indice de permanganate sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS pour l'eau de consommation ( $\leq 5$  mg/L).

### **IV.3.Paramètres microbiologiques**

#### **IV.3.1.Germes aérobies mésophiles**

La **Figure 31** décrit les germes aérobies mésophiles en fonction de la durée de stockage d'eau des ménages A, B, C, D et E.D. Entre le jour du prélèvement et le deuxième jour du stockage; on note une absence des germes aérobies mésophiles dans les eaux stockées du site B, D et E. À partir du deuxième jour, les germes de GAM prolifèrent dans les eaux des ménages à l'exception du ménage D où ils sont absents. Les charges des GAM varient entre 112 et 1123 UFC/ 100 mL. Il faut noter que les eaux stockées dans le ménage A, B et E sont plus contaminées que celles stockées dans les autres ménages.



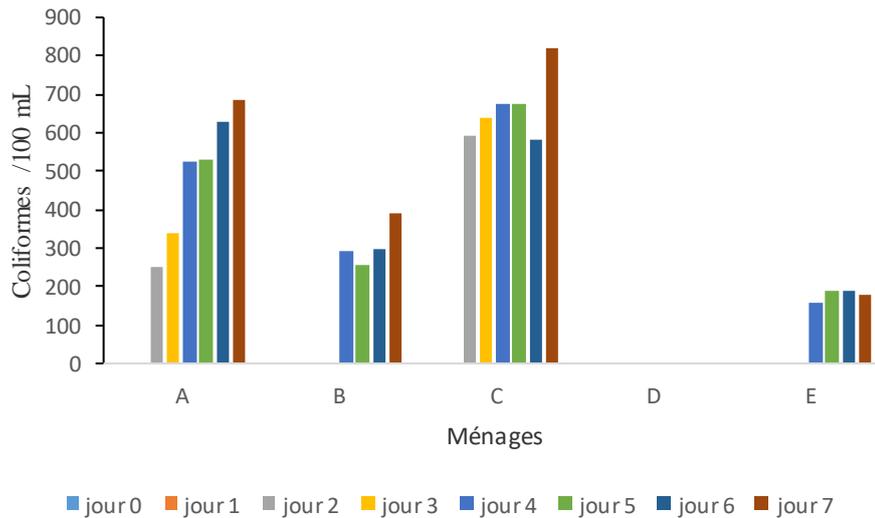
**Figure 31:** Charges des germes aérobies mésophiles dans les eaux stockées

### Interprétation

Il ressort de l'analyse qu'au deuxième jour, les GAM prolifèrent dans les différents types d'eaux des ménages à l'exception du ménage D où ils sont absents. La prolifération des microorganismes dans ces eaux stockées pourrait être due à une contamination croisée lors du prélèvement d'eau. Les analyses ont révélé de faibles valeurs du chlore résiduel dans ces eaux au deuxième jour. L'absence du chlore résiduel dans ces eaux pourrait contribuer à la prolifération des bactéries dans ces eaux. En effet, le chlore est un désinfectant qui permet d'éliminer des bactéries dans les eaux (Tampo et al., 2014). Selon Ayad (2017), la présence des germes aérobies mésophiles vise à estimer la densité de la population bactérienne générale dans l'eau potable.

### IV.3.2. Coliformes totaux dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E

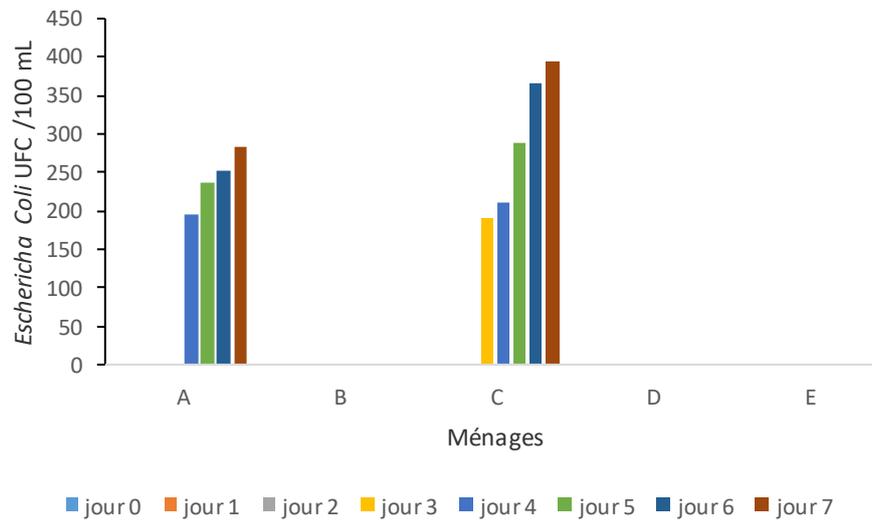
Les germes des coliformes totaux dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E sont présentés par la Figure 32. Entre jour 0 et jour 2, on note une absence des coliformes totaux dans les eaux stockées du ménage D. Contrairement au ménage D, les coliformes totaux prolifèrent dans les eaux des ménages entre jour 2 et jour 7. Les taux des coliformes totaux varient entre 158 et 823 UFC /100 mL. Il apparaît clairement que les eaux des ménages A et C sont plus chargées que celles du site E.



**Figure 32:** Coliformes totaux dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E

#### IV.2.3. *Escherichia coli* dans les eaux stockées dans les ménages

La **Figure 33** décrit les taux d'*Escherichia coli* dénombrés dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E. On note une absence des germes d'*Escherichia coli* dans les ménages B, D et E. Cependant, à partir du jour 2, on note la prolifération d'*Escherichia coli* dans les eaux des ménages A et C. Les taux d'*Escherichia coli* dénombrés dans les eaux des ménages A et C, sont compris entre 190 et 394 UFC/ 100 mL. La présence de ces bactéries indique la non-conformité au critère de qualité microbiologique recommandée par l'OMS qui est 0 UFC/100 mL.



**Figure 33:** *Escherichia coli* dans les eaux stockées des ménages A, B, C, D et E

### Interprétation

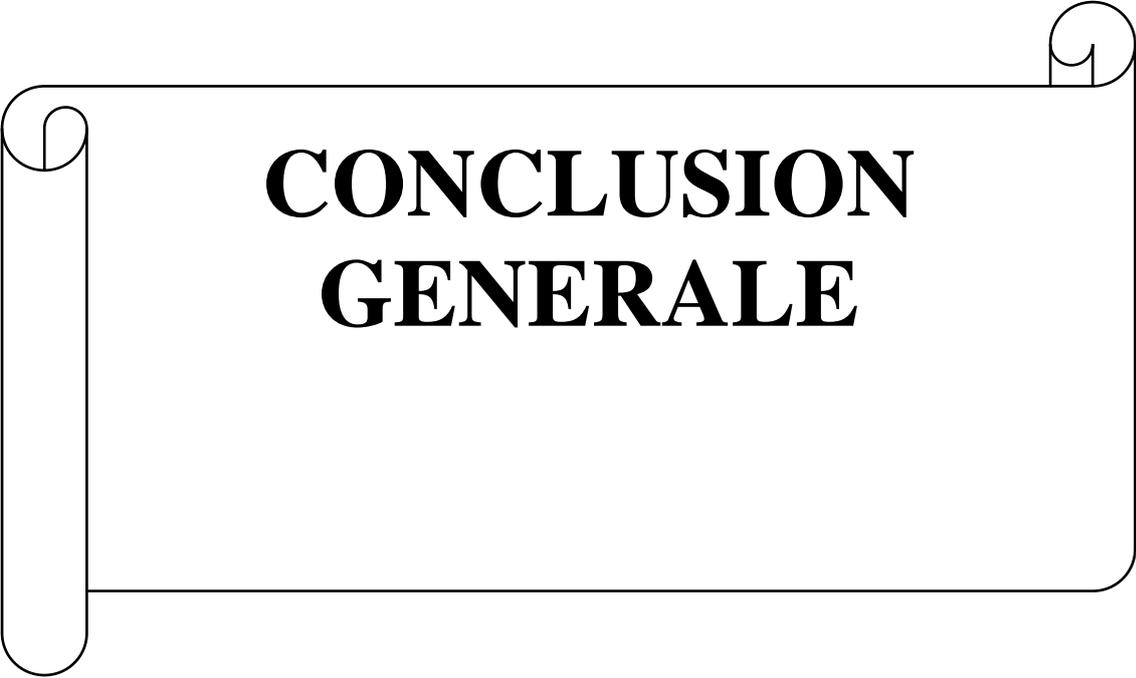
Les résultats des analyses indiquent une absence des germes dans les eaux stockées entre jour 0 et jour 1. Concernant le ménage D, du jour 0 au jour 7, on note une absence des coliformes et d'*Escherichia Coli*. L'absence des germes observée pourrait se justifier par le type de matériel utilisé pour le stockage d'eau ainsi que la connaissance des règles d'hygiène. En effet le ménage D utilise un seau avec un robinet et une couverture comme récipient de stockage d'eau pour la boisson. À cet effet, les mains ne sont pas directement en contact avec l'eau. Contrairement au ménage D, les coliformes prolifèrent dans les eaux des ménages A, B, C et E entre jour 2 et jour 7. La prolifération de ces microorganismes entre jour 2 et jour 7 est corrélée à la quantité du chlore résiduel. En effet, les bactéries commencent à proliférer dans la majorité des eaux des ménages lorsque le taux du chlore diminue. Les études effectuées par **Tampo et al., (2014)**, ont rapporté que le chlore utilisé à l'étape de la désinfection des eaux, empêche la prolifération des microorganismes dans l'eau.

Il faut noter que, les eaux sont stockées pour la plupart dans les récipients à grande ouverture sans des robinets. Par conséquent les mains sont en contact direct avec l'eau au moment du prélèvement. Les travaux de **Kouakou-Sacoul et al. (2012)**, sur le stockage d'eau ont montré que la prolifération des microorganismes dans les eaux a été significativement associée à l'absence de couvercle. Une étude au Zimbabwe a démontré que le seul fait de couvrir le réservoir d'eau réduisait de 50 % les coliformes totaux et fécaux dans l'eau stockée dans les ménages (**Mazengia et al, 2002**).

### **Conclusion partielle**

Le stockage de l'eau dans les ménages A, B, C, D et E a permis de connaître l'évolution des paramètres physico- chimiques et microbiologiques au cours du stockage d'eau. Les analyses ont montré que la durée de stockage de l'eau n'influence pas le pH et la température. Les valeurs de l'oxygène dissous, de l'indice de permanganate et la teneur en chlore résiduel diminuent progressivement en fonction de la durée de stockage de l'eau. Du jour 0 au jour 1, on note une absence totale des germes dans les eaux stockées. Par contre à partir du jour 2 au jour 7, les bactéries prolifèrent dans les eaux stockées des ménages A, B, C, et E excepté le ménage D. Les analyses ont montré que la diminution de la teneur en chlore résiduel est corrélée avec la prolifération des bactéries dans les eaux stockées. La durée adéquate de stockage de l'eau pourrait donc se situer entre le jour 0 et le jour 2.

Le récipient D utilisé par le ménage D pour le stockage de l'eau serait le récipient approprié.



**CONCLUSION  
GENERALE**

La présente étude s'inscrit dans le cadre de l'évaluation des risques sanitaires liés à la consommation de l'eau en Côte d'Ivoire. Elle avait pour objectif d'évaluer les risques sanitaires liés aux différents types d'eau de consommation. Pour atteindre cet objectif une enquête sociodémographique, des analyses physico-chimiques et microbiologiques et une estimation des risques selon la simulation de Monte Carlo ont été réalisées.

L'enquête menée a permis d'obtenir des informations relatives aux caractéristiques sociodémographiques des ménages, les sources d'alimentation en eau, leur environnement immédiat ainsi que l'hygiène de la population consommatrice. Les résultats des enquêtes ont montré que l'accès à l'eau demeure un problème majeur pour la population. Par conséquent, elle développe des stratégies d'accès à l'eau pour satisfaire ses besoins. Les enquêtes ont montré que dans les ménages, une partie de la population est toujours tournée vers les eaux de puits dont certains ne subissent pas de traitement avant utilisation. En outre, une autre partie de la population a accès à l'eau du réseau public, mais malheureusement, elle est confrontée au problème de la rupture d'eau. De ce fait, la population a préconisé le stockage de l'eau dans les ménages comme solution adéquate. Alors que le stockage de l'eau subit plusieurs manipulations avant utilisation. La non désinfection des eaux de puits et le stockage de l'eau dans les ménages sont les facteurs qui pourraient altérer la qualité de l'eau et seraient à l'origine des maladies hydriques. Les données rapportées des enquêtes ont conduit à des analyses physico-chimiques et microbiologiques de l'eau de consommation. Ces données ont montré que les eaux de consommation des villes d'étude sont pour la plupart acide et peu minéralisées. Concernant les substances indésirables et toxiques les résultats ont révélé que les valeurs moyennes du nitrate des eaux de robinet, des eaux stockées et des eaux conditionnées en sachet sont conformes à la valeur recommandée par l'OMS. Toutefois, les valeurs moyennes des eaux de puits de la ville d'Abidjan, de Daloa et San Pedro ne sont pas conformes à la norme OMS. Concernant les métaux lourds, l'arsenic et le plomb ont été déterminés seulement dans les eaux de puits.

Les analyses microbiologiques ont montré qu'au niveau de la qualité bactériologique, les eaux de puits et les eaux stockées dans les ménages sont plus contaminées. Au niveau des régions, les échantillons d'eau de la ville de Korhogo, Bouaké, Daloa et San Pedro sont les plus contaminés. L'eau stockée et l'eau de puits ont une qualité douteuse du point de vue chimique et microbiologique. La consommation de ces eaux pourrait constituer un risque pour la santé humaine. La dégradation de la qualité bactériologique de ces eaux serait liée aux mesures d'hygiène pratiquée à proximité des puits et la chaîne de conservation d'eau dans les ménages.

Afin d'estimer les risques liés à la consommation des différents types d'eau, une évaluation quantitative des risques a été envisagée.

Les simulations par la méthode de Monte-Carlo ont montré que les probabilités de consommer le nitrate à des doses supérieures à la DJA sont de 5,65% à Daloa, de 1,25 % à San Pedro et de 10,2% à Abidjan. Cependant, dans les eaux du réseau public, les eaux stockées dans les ménages et les eaux ensachées, les populations consomment le nitrate à des doses inférieures à la DJA. S'agissant du plomb, sur 100 000 habitants, 3370, 1650 et 6020 personnes respectivement des villes de Daloa, de San Pedro et d'Abidjan, seront exposées aux risques liés à l'ingestion du plomb. Les simulations de Monte -Carlo ont indiqué que la probabilité d'ingérer de l'arsenic à des doses supérieures à la DJT est de 1,75 % à San-Pedro et 4,42% à Abidjan. À propos du risque microbiologique, la probabilité de consommer la bactérie *Escherichia Coli* est faible .

La consommation des eaux stockées pourrait probablement exposer la population à des risques sanitaires. Afin de réduire les risques liés à la consommation de ces eaux, la détermination de la durée de stockage a été effectuée. Le stockage de l'eau dans les ménages dans différents types de récipients ( A B C D et E ) a permis de connaître l'évolution des paramètres physico-chimiques et microbiologiques au cours du stockage de l'eau. Les analyses ont montré que la durée de stockage de l'eau n'influence pas le pH et la température. Les valeurs de l'oxygène dissous, de l'indice de permanganate et la teneur en chlore résiduel diminuent progressivement en fonction de la durée de stockage de l'eau. Du jour 0 au jour 1, on note une absence totale des germes dans les eaux stockées. Par contre à partir du jour 2 au jour 7, les bactéries prolifèrent dans les eaux stockées des ménages A, B, C, et E excepté le ménage D qui est conçu avec un robinet.

Les analyses ont montré que la diminution de la teneur en chlore résiduel est corrélée avec la prolifération des bactéries dans les eaux stockées .La durée adéquate de stockage de l'eau pourrait donc se situer entre le jour 0 et le jour 2. Le récipient D utilisé par le ménage D pour le stockage de l'eau serait le récipient approprié.

Suite à ces investigations, il serait nécessaire d'inculquer à la population des bonnes pratiques d'hygiène de transport, de prélèvement et de stockage de l'eau dans les ménages.

Il serait également crucial et intéressant de conserver l'eau dans les récipients à robinet afin d'éviter les contaminations croisées. Aussi inciter la population à réduire la durée de stockage à deux jours.

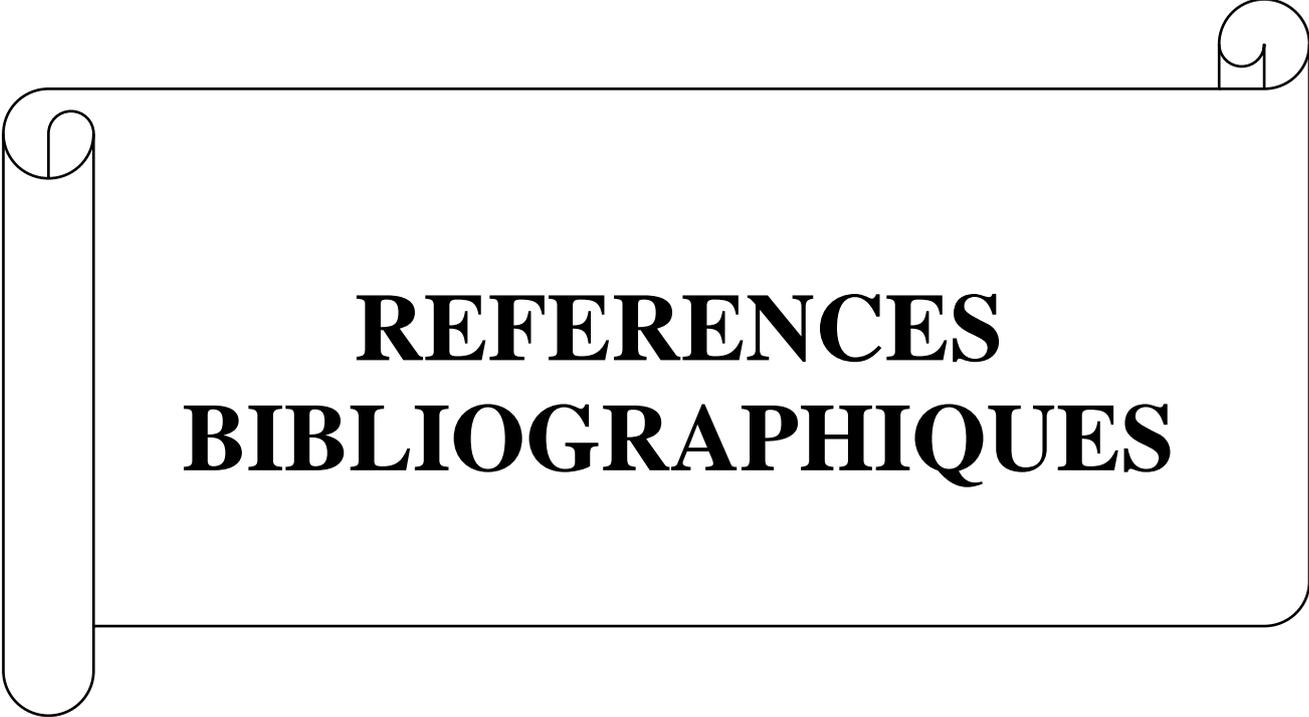
Concernant les eaux de puits, il serait nécessaire de construire des puits modernes afin de réduire les risques de contamination .

Le gouvernement doit responsabiliser des structures spécialisées pour le traitement préalable des eaux de ces puits.

Cependant, envisager une étude pour développer un modèle de prédiction de la demande en chlore basé sur les paramètres physico- chimiques et microbiologiques afin de déterminer la durée de stockage de l'eau .

Identifier d'autres microorganismes pathogènes dans ces eaux.

.

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip on top, both with rounded ends and small loops at the corners.

**REFERENCES**  
**BIBLIOGRAPHIQUES**

**Abai E. A., Ombolo A., Ngassoum M. B., Mbawala A. (2014).** Suivi de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux des cours d'eau de Ngaoundéré, au Cameroun. *Afrique Science*, 10 (4) : 135-145.

**Aboli A. T., Manizan N. P., Kacou-Ndouba A., Dosso M. (2007).** Evaluation du risque sanitaire des eaux en sachet plastique vendues dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire). *Revue Bio-Africa*, 57-63.

**Abubakar A., Bwire G., Azman A. S., Bouhenia M., Deng L. L., Wamala J. F. (2018).** Cholera epidemic in South Sudan and Uganda and need for international collaboration in cholera, *Control Emerging Infectious Disease*, 24: 883-887.

**Adjahouinoud. C., Yehouenou B., Liady M. N. D., Fiogbe E. D. (2014).** Caractérisation bactériologique des eaux résiduaires brutes de la ville de Cotonou (Bénin), *Journal of Applied Biosciences*, 78 : 6705- 6713.

**AFSCA (2005).** Terminologie en matière d'analyse des dangers et des risques selon le Codex Alimentarius, rapport, 46 p.

**Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2007).** Toxicological profile for arsenic. ATSDR, Atlanta, Georgia, 559 p.

**Ahoudi H., Gnandi K., Tanouayi G., Ouro-Sama K. (2015).** Caractérisation Physico-Chimique et Etat de pollution par les éléments traces métalliques des eaux souterraines de Lomé (Sud Togo) : cas du quartier Agoe Zongo, *Larhyss Journal*, 24: 41-56.

**Ahoulé D. G., Lalanne F., Mendret J., Brosillon S., Maïga A. H. (2015).** Arsenic in african waters, *Review Water Air Soil Pollution*, 226 (9): 1-13.

**Ahoussi K. E., Soro N., Koffi Y. B., Soro G., Biémi J. (2010).** Origine de la minéralisation des eaux des aquifères discontinus sous couvert forestier de la zone Sud de la Côte d'Ivoire : cas de la région d'Abidjan-Agboville, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (3) : 782-797.

**Ahoussi K. E., Soro N., Kouassi A. M., Soro G., Koffi Y. B., Zade S. P. (2010).** Application des méthodes d'analyses statistiques multivariées à l'étude de l'origine des Métaux lourds ( $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$  et  $\text{Pb}^{2+}$ ) dans les eaux des nappes phréatiques de la ville d'Abidjan., *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 4 (5): 1753-1765.

- Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro G., Soro N., Biémi J. (2012).** Caractérisation physico-chimique et bactériologique des ressources en eau des localités situées aux abords de la lagune ébrié dans la commune de Marcory (district d'Abidjan, Côte d'Ivoire): Cas du village d'Abia Koumassi, *European Journal of Scientific Research*, 89 (3): 359-383.
- Ahoussi K. E., Koffi Y. B., Kouassi A. M., Soro G. Biémi J. (2013).** 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*, 63 (1) : 4703- 4719.
- Ahoussi K. E., Loko S., Koffi Y. B., Soro G., Oga Y. M. S., Soro N. (2017).** Evolution spatio-temporelle des teneurs en nitrates des eaux souterraines de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), *International Journal of Pure and Applied Bioscience*, 1 (3): 45-60.
- Ahoussi E. K., Keumean N. K, Kouassi M. A., Koffi B. Y. (2018).** Etude des caractéristiques hydrogéochimiques et microbiologiques des eaux de consommation de la zone périurbaine de la ville de Man : cas du village de Kpangouin (Côte d'Ivoire), *International Journal Biological Chemical Science*, 11(6): 3018-3033.
- Aka N., Bamba S.B., Soro G., Soro N. (2013).** Étude hydrochimique et microbiologique des nappes d'altérites sous climat tropical humide : Cas du département d'Abengourou (Sud-Est de la Côte d'Ivoire), *Larhyss Journal*, 16 : 31-52.
- Akmel D. C., Aw S., Montet D., Assidjo N. E., Degni M. L., Akaki D., Moretti C., Elleingand E., Brabet C., Baud G., Mens F., Yao B., Michel T., Durand N., Berthiot L., Hubert A., Tape T. (2017).** Quantitative Assessment of the Microbiological Risk Associated with the Consumption of Attieke in Côte d'Ivoire, *Food Control*, 81, 65-73.
- Akter K. F., Owens G., Davey D. E. and Naidu R. (2005).** Arsenic speciation and toxicity in biological systems. *Environment. Contaminant Toxicology*, 184: 97-149.
- Alimohammadi M., Latifi N., Nabizadeh R., Yaghmaeian K., Mahvi A. H., Yousefi M. (2018).** Determination of nitrate concentration and its risk assessment in bottled water in Iran, *Data Brief*, 19: 2133-2138.
- Alizadeh-Hesar M., Bakhshi B., Najari-Peerayeh S. (2015).** Clonal dissemination of a single *Shigella sonnei* strain among Iranian children during fall 2012 in Tehran, IR Iran, *Infection, Genetics and Evolution*, 34: 260-266.

**Almeida M. B. C. (2018).** *Salmonella* en filière porcine : dynamique d'infection, pouvoir colonisateur et virulence. Thèse de Doctorat, Université de Rennes, 201 p.

**Amadi V. A., Hariharan H., Arya G., Matthew-Belmar V., Nicholas-Thomas R., Pinckney R., Sharma R., Johnson R. (2017).** Serovars and antimicrobial resistance of non-typhoidal *Salmonella* isolated from non-diarrhoeic dogs in Grenada, West Indies, *Veterinary Medicine and Science*, 4 (1): 26-34.

**Amin N. C., Lekadou K. S., Attia A. R., Claon J. S., Agbessi K., Kouadio K. L. (2008).** Qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'adduction publique de huit communes en Côte d'Ivoire, *Journal Science Pharmacie Biologie*, (9): 22-31.

**Anderson M. C., Vonaesch, P., Saffarian A., Marteyn B. S., Sansonetti P. J. (2017).** *Shigella Sonnei* Encodes a Functional T6SS Used for Interbacterial Competition and Niche Occupancy, *Cell Host Microbe*, 21 : 769-776.

**Andujar P., Bensefa-Colas L. Descatha A. (2010).** Acute and chronic cadmium poisoning, *Revue Medecine Interne*, 31 (2) : 107-15.

**ANSES (2011).** *Salmonella* spp. Fiche de description de danger biologique transmissible par les aliments. [http://www.afssa.fr/Documents/MIC-Fi-Salmonella\\_spp](http://www.afssa.fr/Documents/MIC-Fi-Salmonella_spp). Consulté le 20 décembre 2018.

**Aranguren M. M. S. (2008).** Contamination en métaux lourds des eaux de surface et des sédiments du Val de Milluni (Andes Boliviennes) par des déchets miniers. Approches géochimique, minéralogique et hydrochimie, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse III, 489p.

**Assidjo E., Sadat A., Akmel C., Akaki D., Elleingand E., Yao B. (2013).** L'analyse des risques : Outils innovant d'amélioration de la sécurité sanitaire des aliments. *Revue Africaine de Santé et de Productions Animales*, 11 (s) : 10-11.

**Assonye C. C., Okoline N. P., Okenwa E. E., Iwuanyanwu U. G. (2007).** Some physicochemic characteristics and heavy metal profiles of Nigerian rivers, streams and waterways, *African Journal of Biotechnology*, 6 (5): 617-624.

**ATSDR (2007).** Toxicological Profile for Arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease Registry. U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA, USA .

**Atta R., Abida F., Sajid M., Khadim H. (2016).** Arsenic in groundwater and its health risk assessment in drinking water of Mailsi, Punjab, Pakistan, Human and Ecological Risk Assessment, *International Journal*, 22 (1) : 187-202.

**Aubry P. (2013).** Les Salmonelloses. *Médecine Tropicale*, 6p.

**Awomon D. F., Coulibaly M., Niamké G. M., Santos D. S. (2019).** La problématique de l'approvisionnement en eau potable et le développement des maladies à transmission hydrique dans les quartiers d'extension Orly de la ville de Daloa (Côte d'Ivoire), *Revue Espace Territoires Sociétés et Santé*, 1 (2) : 91-108.

**Ayad W. (2017).** Evaluation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines : cas des puits de la région d'El-Harrouch (wilaya de skikda), These de Doctorat, Université d'Annaba, 116 p.

**Ayad W., Kahoul M. (2016).** Assessment of physico-chemical and bacteriological quality of Well water in the region of El-Harrouch (N. E-Algeria) *Journal of Materials and Environmental Science*, 4 (7): 1288-1297.

**Bhat R. A., Shafiq-Rehman M. M. A., Dervash M. A., Mushtaq N., Bhat J. I. A., Dar G. H. (2017).** Current status of nutrient load in Dal Lake of Kashmir Himalaya, *Journal Pharmacology Phytochemi*; 6 (6): 165-169.

**Baker-Austin C., Trinanes J., Gonzalez-Escalona N., Martinez-Urtaza J. (2017).** Non-Cholera Vibrios: The Microbial Barometer of Climate Change. *Trends in Microbiology*, 25 (1): 76-84.

**Balière C. (2016).** Les Escherichia coli potentiellement pathogènes dans l'environnement littoral : cas des STEC et des EPEC. Microbiologie et Parasitologie. Université de Bretagne occidentale, Thèse de Doctorat, Université de Bretagne occidentale, 180 p.

**Baranger C., Mathiaud J. (2012).** Méthode de Monte Carlo. <http://www.dfr.ensta.fr/Cours/docs/D11-2/coursMonteCarloENSTA.pdf>. Consulté le 11 février 2019.

**Barka M. S. (2012).** Recherche et caractérisation d'*Escherichia coli* entérohémorragique O157 : H7 dans les viandes bovines importées en Algérie, Thèse de Doctorat, Université d'Oran d'Algérie, 98p.

**Barlow S. M., Greig J. B., Bridges J. W., Carere A., Carpy A. J. M., Galli C. L., Kleiner J., Knudsen I., Koëter H. B. W. M., Levy L. S. (2002).** Hazard identification by Methods of animal-base toxicology, *Food and Chemical Toxicology*, 40:145 -191.

**Batoul B. (2018).** Contribution à l'étude de la contamination des eaux et des sédiments de l'Oued Chélif (Algérie), Thèse de Doctorat, Université Perpignan (France), 189p.

**Beaulieu P., Fisset B. (2009).** Eau du robinet : une exigence de qualité, *cahier de nutrition et de diététique*, 44 : 294-301.

**Belabed B. (2010).** La pollution par les métaux lourds dans la région d'Annaba « Sources de contamination des écosystèmes aquatiques », Thèse de Doctorat, Université Badji Mokhtar d'Annaba. 176 p.

**Belghiti M. L., Chahlaoui A., Bengoumi D., EL Moustaine R. (2013).** Etude de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux souterraines de la nappe plio-quadernaire dans la région de Meknès (Maroc), *Larhyss Journal*, 14 : 21-36.

**Benajiba M. H., Saoud Y., Lamribah A., Ahrikat M., Amajoud N., Ouled-Zian O. (2013).** Évaluation de la qualité microbienne des eaux de la nappe phréatique de Martil au Maroc. *Revue des sciences de l'eau*, 26 (3) : 223-233.

**Bergeron N. (2009).** Caractérisation phénotypique et génotypique d'isolats de Salmonella Typhimurium provenant de porcs sains ou septicémiques, Thèse de Doctorat, Université de Montréal, 263p.

**Bisson M., Houeix N., Hulot C., Lacroix G., Lefevre J.-P., Leveque S., Magaud H., Morin A. (2006).** Arsenic et ses dérivés inorganiques. Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, 77 p.

**Bisson M., Hulot C., Lacroix G., Lefèvre J. P., Magaud H., Oberson-Geneste D., Morin A., Pépin G. (2011).** Plomb et ses dérivés, Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques. INERIS, 82p. <http://www.ineris.fr/hml>, consulté le 10/04/2019.

**Blé L. O., Soro T. D., Dje K. B., Degny G. S., Biemi J. (2015).** Eaux conditionnées en sachets : quels risques d'exposition des populations du district d'Abidjan ? *Larhyss Journal*, 24:85-107.

**Blinda M. (2007).** Pollution tellurique du littoral nord-ouest du Maroc entre Tanger et Tétouan: Caractérisation, impact sur l'environnement et proposition de solutions. Thèse de doctorat, Université Mohammed V, Rabat, 194 p.

- Bordeleau G., Savard M.M., Martel R., Ampleman G., Thiboutot S. (2008).** Determination of the origin of groundwater nitrate at an air weapons range using the dual isotope approach, *Journal of Contaminant Hydrology*, 98 (3-4) : 97-105.
- Bossy A. (2010).** Origines de l'arsenic dans les eaux, sols et sédiments du district aurifère de St-Yrieix-la-Perche (Limousin, France) : contribution du lessivage des phases porteuses d'arsenic. Thèse de Doctorat, Université de Limoges, Limoges, France, 201 p.
- Bras A., Emmanuel E., Obicson L., Brasseur P., Jean J. W. P, Pape W., Raccurt C. P. (2007).** Évaluation du risque biologique dû à *Cryptosporidium* sp. Présent dans l'eau de boisson à Portau-Prince (Haïti), *Environnement, Risques et Santé*, 6 (5) : 55-64.
- Caille N. (2002).** Mobilité et phytodisponibilité du mercure dans les dépôts de sédiment de curage, Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine, Nancy, 167 p.
- Cerf O., Sanaa M., Dufour B., Toma B. (1996).** Nomenclature proposée pour l'analyse de risque en santé humaine et animale. *Epidémiologie et santé animal*, 30: 35- 43.
- Chanel O., Dollfus C., Haguenoer J. M., Hartemann P., GHuel H. (1999).** Plomb dans l'environnement : quels risques pour la santé ? [Rapport de recherche] Institut national de la santé et de la recherche médicale (INSERM). 451 p.
- Chatterjee S., Raval I. H. (2019).** Pathogenic microbial genetic diversity with reference to health. In: *Microbial Diversity in the genomic era*, Academic Press, 559-577.
- Chébékoué S. F (2009).** Évaluation du risque cancérigène associé à la contamination de l'eau potable de puits municipaux par les nitrates/nitrites dans certaines régions rurales du Québec, Thèse de Doctorat ; Université de Montréal, 157p.
- Chen H. M., Wang Y., Su L. H., Chiu C. H. (2013).** Nontyphoid *Salmonella* Infection: Microbiology, Clinical Features, and Antimicrobial Therapy, *Taiwan Pediatric Association*, 54 (3): 147-152.
- Chen Y., Jackson K., Chea F., Schaffer D. (2000).** Quantification and variability analysis of bacterial cross contamination rates in common food service tasks, *Journal Food Prot.* 64: 72-80.
- Chouhan S., Flora S. J. S. (2012).** Arsenic and fuluride: Two major ground water pollutants, *Indian Journal of Experimental Biology*, 48: 666-678.

**Claon J. S., Kouakou-Sackoul G. J., Attia A. R (2005).** Accessibilité, hygiène et qualité de l'eau à usage domestique dans la commune de Koumassi. Abidjan, *Cahier de Santé Public.*, 2 (4) : 5-12.

**Codex Alimentarius Commission. (2007).** Principes et directives pour la gestion des risques microbiologiques. Geneva: Food and Agriculture Organization of the United Nations, *World Health Organization*, 72p.

**Copeland C. C., Beers B. B., Thompson M. R. (2009).** Faecal contamination of drinking water in a Brazilian shanty town: importance of household storage and new human faecal marker testing. *Journal Water Health*, 7: 324-31.

**Cornu M., Bergis H., Miconnet N., Delignette-muller M. L, Beaufort A. (2003).** Appréciation des risques microbiologiques : présentation générale et applications. *Revue Génie. Froid*, 1032 : 33-42.

**Cortes-Maramba N., Reyes J. P., Francisco-Rivera A. T., Akagi H., Sunio R. and Panganiban L. C. (2006).** Health and environmental assessment of mercury exposure in a gold mining community in Western Mindanao, Philippines, *Journal of Environmental Management*, 81 :126-134.

**Coulibaly K. R. (2015).** Evaluation du risque de salmonellose lié à la consommation du lait caillé (lait fermenté artisanal) produit à Yamoussoukro en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat, Université Félix Houphouët-Boigny de Cocody (Côte d'Ivoire), 139p.

**Coulibaly L., Diomandé D., Coulibaly A., Gourène G (2017).**"Utilisation des ressources en eaux, assainissement et risques sanitaires dans les quartiers précaires de la commune de portbouët (Abidjan; Côte d'Ivoire)", *VertigO*, 5 : 2-11.

**Craig L., Lutz A., Berry K.A., Yang W. (2015).** Recommendations for fluoride limits in drinking water based on estimated daily fluoride intake in the Upper East Region, Ghana, *Science of the Total Environment*, 532: 27-137.

**Crepet A. (2007).** Statistique Bayésienne et Monté-Carlo de second ordre pour l'évaluation des risques microbiologiques. Le cas de *Listeria monocytogenes* dans les produits de quatrième gamme. Thèse de Doctorat, Université de ParisTech, 258p.

**Crépet A., Tressou J. (2011).** Bayesian nonparametric model for clustering individual co-exposure to pesticides found in the French diet, *bayesian analysis*, 6 (1):127-144.

- Darvishmotevalli M., Moradnia M., Noorisepehr M., Fatehizadeh A., Fadaei S., Mohammadi H., Daniali S. S. (2019).** Evaluation of carcinogenic risks related to nitrate exposure in drinking water in Iran, *MethodsX*, 6:1716-1727.
- Degbey C., Makoutode M., Agueh V. Dramaix M. C., Brouwer C. (2011).** Facteurs associés à la qualité de l'eau de puits et prévalence des maladies hydriques dans la commune d'Abomey-Calavi (Bénin), *Santé*, 21: 47-55.
- Dehbandi R., Moore F., Keshavarzi B. (2017).** Geochemical sources, hydrogeochemical behavior, and health risk assessment of fluoride in an endemic fluorosis area, *Central Iran*, 193: 763-776
- Delhalle L., Saegerman C., Farnir F., Korsak N., Daube G. (2008).** L'évaluation quantitative du risque microbiologique : revue de trois modèles liés à *Salmonella* dans les aliments, *Animal. Médical. Vétérinaire.*, 152:116-129.
- Desroches A. (2013).** Le management des risques par l'analyse globale des risques, *Transfusion Clinique et Biologique*, 20 (2) : 198-210.
- Dewinter L. M., William H.R., Couture H., Farber J. F. (2011).** Risk assessment of shell eggs internally contaminated with salmonella enteritidis, *International Food Risk Analysis Journal*, 1(1) : 40-81.
- Diabagate A., Konan G. H., Koffi A. (2016).** Stratégies d'approvisionnement en eau potable dans l'agglomération d'Abidjan (Côte d'Ivoire), *Géo-Eco-Trop.*, 4(1): 345-360.
- Diallo A. A. (2013).** *Escherichia coli* pathogènes et résistantes aux antibiotiques dans les effluents d'origine humaine et animale : Prévalence et caractérisation avant et après traitement épuratoire. Thèse de Doctorat, Université Toulouse III, 187p.
- Diarra A., Dali G., Sekongo L. G. (2014).** Crise de l'eau potable en milieux urbain : cas de Daloa, *Revue géographique*, 2 : 132-142.
- Dibi E. D., Djédjro A. C., Tano K., Assidjo N. E., Akaki D., Montet D. (2017).** Quantitative Assessment of the Risk Linked to the Consumption of Braised Beef Meat "Choukouya" Contaminated with Pathogenic *Clostridium perfringens* in Côte D'Ivoire , *Food and Nutrition Sciences*, 8 : 1137-1155 .
- Dibi E. A. D. B. (2018).** Sécurité sanitaire des aliments: Evaluation des risques microbiologiques liés à la consommation de la viande de bœuf contaminée par des germes indicateurs de risque en Côte d'Ivoire, These de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, 197p.

**Dufailly V. (2008).** Spéciation de l'arsenic dans les produits de la pêche par couplage hplc-icp-ms après extraction assistée par micro-ondes (MAE): contribution à l'évaluation des risques par l'estimation de sa bioaccessibilité. Thèse de Doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Paris, France, 204 p.

**Dzwairo B., Hoko Z., Love D., Guzha E. (2006).** Assessment of the impacts of pit latrines on groundwater quality in rural areas: A case study from Marondera district, Zimbabwe, *Physical Chemical Health*, 31: 779- 788.

**Edberg S. C, Rice E. W., Karlin R. J. , Allen M. J. (2000).** *Escherichia coli*: the best biological drinking water indicator for public health protection, *Journal of Applied Microbiology*, 88:106-116.

**Edmunds W. M., Smedley, P. L. (2013).** Fluoride in natural waters In: Essentials of Medical Geology, *Springer*, 311-336.

**Efron B. (1979).** Bootstrap methods: Another Look at the Jackknife. *The Annals of Statistics*, 7(1): 1-26.

**Egeghy P. P., Cohen Hubal E. A., Tulse N. S., Melnyk L. J., Morgan M. K., Fortmann R. C. , Sheldon L. S. (2011).** Review of pesticide urinary biomarker measurements from selected US EPA children's observational exposure studies, *International Journal Environnement Research Public Health*, 8 (5): 1727-1754.

**El- Haissoufi H., Berrada S., Merzouki M., Aabouch M., Bennani L., Benlemlih M., Idir M., Zanibou A., Bennis Y., El Ouali lalami A. (2011).** Pollution des eaux de puits de certains quartiers de la ville de Fès, Maroc, *Revue Microbiologie. Industriel Santé et Environnement*, 5 (1) : 37- 68.

**El-Ziney M. G., Turki A. L. (2007).** Microbiological quality and safety assessment of camel milk (*Camelus dromedaries*) in Saud Arabia (Qassim region). *Applied Biology and Environnemental Research*, 5 (2):115-122.

**Espejo-Herrera N., Cantor K. P., Malats N., Silverman D. T., Tardón A., García-Closas R., C., Manolis K. , Villanueva C.M. (2015).** Nitrate in drinking water and bladder cancer risk in Spain, *Environmental Research*. 137 : 299-307.

**Etchevers A., Glorennec P., Lucas J. P., Bot B., Camille L., Tertre A. (2017).** Exposition au plomb des enfants en France : niveaux d'imprégnation et déterminants, *Toxicologie Analytique et Clinique*, 2 : 1-13.

**Evens E. (2002).** Evaluation des risques sanitaires et éco-toxicologiques liés aux effluents hospitaliers, Thèse de Doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 147p.

**Fanny S. (2011).** Optimisation du protocole de recherche des *Escherichia coli* producteurs de Shiga-toxines (STEC) dans les aliments, Thèse de doctorat, Université de Bourgogne, 197 P.

**FAO/OMS (2011).** Guide d'application des principes et des procédures d'analyse des risques lors des urgences en matière de sécurité sanitaire des aliments, Rome, 40p.

**FAO/OMS (2005).** Système national de sécurité sanitaire des aliments et ses impacts socioéconomiques et sanitaires, FAO/OMS. 6 p.

**FAO/OMS (2010).** Manuel de procédure. *Codex Alimentarius*. Dix-neuvième édition, Rome, Italie, 204 p.

**Farreny R., Morales-Pinzón T., Guisasola A., Tayà C., Rieradevall J., Gabarrell X. (2011).** Roof selection for rainwater harvesting: quantity and quality assessments in Spain. *Water Resource.*, 45 (10) : 3245-3254.

**Festy B., Hartemann P., Ledrans M., Levallois P., Payment P., Tricard D. (2003).** Qualité de l'eau. *Environnement et santé publique-Fondement et pratiques*, 333- 368.

**Fleckenstein J.M., Kuhlmann F. M. (2019).** Enterotoxigenic *Escherichia coli* Infections, *Current Infectious Disease Reports* 21: 1-9.

**Fleury M., Charron D. F., Holt J. D., Allen O. B., Maarouf A. R. (2006).** A time series analysis of the relationship of ambient temperature and common bacterial enteric infections in two Canadian provinces, *International Journal Biometeorol*, 50(6): 385-391.

**Fogolari M., Mavian C., Angeletti S., Salemi, M., Lampel K. A., Maurelli A. T. (2018).** Distribution and characterization of Shiga toxin converting temperate phages carried by *Shigella flexneri* in Hispaniola Infection, *Genetics and Evolution*, 65: 321-328.

**Foucher D., Ogrinc N, Hintelmann H. (2009).** Tracing mercury contamination from the Idrija mining region (Slovenia) to the gulf of Trieste using Hg isotope ratio measurements *Environment Science Technology*, 43(1): 33-39.

**Gandhi N., Sirisha D., Asthana S., Manjusha A. (2012).** Adsorption studies of fluoride on multanimatti and red soil. *Resource Journal Chemical Science*, 2:32-37.

- Gao Y., Yu G., Luo C., Zhou P. (2012).** Groundwater Nitrogen Pollution and Assessment of Its Health Risks: A Case Study of a Typical Village in Rural-Urban Continuum, China, *PLoS ONE*, 7(4) : 1-8.
- Gapwu H., kari B. P A., sillag I. G., Etoa N., Fomba J. M. A. C., Mounjouenpou P. (2018).** Physico-chemical and bacteriological characterization of sachet water sold in Yaounde City, Cameroon, *African Journal of Biotechnology*, 17 (11):343-349.
- Garnier R. (2005).** Toxicité du plomb et de ses dérivés. *EMC - Toxicologie-Pathologie* 2: 67-88.
- Garrido-Maestu A., Lozano-León A., Rodríguez-Souto R. R., Vieites-Maneiro R., Chapela M. J., Cabado A. G. (2016).** Presences of pathogenic *Vibrio* species in fresh mussels harvested in the southern Rias of Galicia (NW Spain), *Food Control*, 59 :759-765.
- Gbohaida V., Agbangnan D. C. P., Ngossanga M. B., Medoatinsa S. E, L.F. Dovonon C., Wottod. V, Avlessi F., Sohounhloue D. C. K. (2016).** Etude de la qualité physico-chimique de l'eau de boisson dans deux localités du Bénin : Cotonou et Dassa-Zoumè, *International Journal of Biological. and Chemical. Science*. 10 (1): 422-434.
- Gerba C. P. (2009).** Environmentally Transmitted Pathogens, *Environmental Microbiology*, 445-484.
- Giezendanner (2012).** Taille d'un échantillon aléatoire et Marge d'erreur, CMS-SPIP, <http://icp.ge.ch/sem/cms-spip/spip.php>, 22p.
- Gnagne Y. A., Yapo O. B., Mambo V., Meite L., Houenou P. (2013).** Pollution urbaine et processus d'acidification des eaux de puits de la ville d'Abidjan, Côte d'Ivoire, *Journal de la Société Ouest-Africaine de Chimie*, 36 : 55 - 61.
- Godt J., Scheidig F., Grosse-Siestrup C., Esche V., Brandenburg P., Reich A., Groneberg D.A. (2006).** The toxicity of cadmium and resulting hazards for human health, *Journal of occupational medicine and toxicology*, 10: 1-22.
- Goita A. (2014).** Les bactéries pathogènes d'origine hydrique de l'épidémiologie à la prévention, Thèse de Doctorat, Université Mohamed V-Soussi au Maroc, 171p.
- Gold C. (2002).** Etude des effets de la pollution métallique (Cd/Zn) sur la structure des communautés de diatomées périphytiques des cours d'eau. Approches expérimentales in situ et en laboratoire. Thèse de Doctorat, Université Bordeaux I, 175p.

- Goné D. L., Savané I., N’go Y.A., Biémi J. (2005).** Mobilité relative des cations majeurs lors de l’altération des roches et acquisition de la minéralisation des eaux souterraines dans le degré carré de Man, *Sciences Naturelles*, 2 (1): 85-94.
- Gouali M. F.X.W. (2013).** Enterohemorrhagic Escherichia coli (EHEC): topical enterobacteriaceae., *Presse Médicale, Elsevier Masson*, 42 (1), pp.68-75.
- Graillot V. (2012).** Appréciation quantitative de l’exposition alimentaire à des mélanges de pesticides et mécanismes de génotoxicité, Thèse de Doctorat, pathologie, toxicologie, génétique et nutrition, Université Toulouse, 105 p.
- Hamadani J. D., Grantham-Mc G. S. M., Tofail F., Nermell B., Fangstrom B., Huda S. N., Yesmin S., Rahman M., Vera-Hernandez M., Arifeen S. E., Vahter M. (2010).** Pre and post natal arsenic exposure and child developments at 18 months of age: a cohort study in rural Bangladesh, *International Journal of Epidemiology*., 39 (5): 1206-1216.
- Hammack T. (2009).** Foodborne pathogenic microorganisms and natural toxins. Center for food safety and applied nutrition. USA, 264 p.
- Hasan T. J., Hicking, David J. (2011).** Empowering rural communities: simple water safety plans, *Water Science. Technologie*., 11 :309-317.
- Heriarivony S., Razanamparany B. et Rakotomalala J. (2015).** Caractères physico-chimiques et bactériologiques de l’eau de consommation (puits) de la commune rurale d’Antanifotsy, Eregion Vakinankaratra (Madagascar), *Larhyss. Journal*, 24: 7-17.
- Hernandez L., Probst A., Probst J. L., Ulrich E. (2003).** Heavy métal distribution in some French forest soils: evidence for atmospheric contamination. *Science of the Total Environment*, 312(1-3): 195-219.
- Horowitz J. L. (2001).** The bootstrap In Handbook of Econometrics, *Elsevier Science, Amsterdam, Hollande*, 3160-3223.
- Hospitalier-Ravillo J., Poirier R. (2008).** L’eau destinée à la consommation humaine, *Elsevier Masson SAS*, 1-10.
- Hounsounou E. O., Agassounon M. D., Ayi-Fanou T., Kelome N.C, Vissin Expedit W., Mensah G.A., Agbossou E. (2018).** Traçabilité de la qualité hygiénique des eaux du réseau public le long de la chaîne d’approvisionnement dans les quartiers précaires du sixième arrondissement de Cotonou (sud-Benin), *International Journal of Biological and Chemical Sciences* , 12 (1) : 30 -45.

**Hounsounou E. O., Tchibozo, M. A. D., Kelome N. C., Vissin E. W., Mensah G. A., Agbossou E. (2016).** Pollution des eaux à usages domestiques dans les milieux urbains défavorisés des pays en développement : Synthèse bibliographique, *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10 (5) :2392-2412.

**Hu J., Chen M. Y., Chen T., Hu J., Wang Y., Shi T. (2013).** Study on the contamination and distribution of virulence genes of *Vibrio Parahaemolyticus* in inland marketing aquatic products and environment, *Journal of Publidh Health and Prevention Medical*, 24 (4) : 33-37.

**Huber C. (2006).** Une méthode de rééchantillonnage : le bootstrap. <http://www.biomedicale.univ-paris5.fr/survie/enseign/cours/bootstrap> 17 p, Consulté le 10 février 2019.

**Huehn S., Eichhorn C., Urmersbach S., Breidenbach J., Bechlars S., Bier N., AlterT., Bartelt E., Frank C., Oberheitmann B., Gunzer F., Brennholt N., Boer S., Appel B., Dieckmann R., Strauch E. (2014).** Pathogenic *vibrios* in environmental, sea food and clinical sources in Germany, *International Journal Median Microbiology*, (7): 843-850. .

**Huyghebaert A., Vanthemsche P. (2005).** Terminologie en matière d'analyse des dangers et des risques selon le codex alimentarius. Agence Fédérale pour la Sécurité de la Chaîne Alimentaire, *Bruxelles, Belgique*, 46 p.

**INERIS (2014).** Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques : Cadmium et ses dérivés. DRC-11-117259-10308B.doc. Version N°3, 111 p.

**INERIS (2015).** Données technico-économiques sur les substances chimiques en France : DRC-16-158744-09774A, p. 58 (<http://rsde.ineris.fr/> ou <http://www.ineris.fr/substances/fr/>), consulté le 30/12/2020.

**International Cadmium Association's website (2009).** *Cadmium*. Disponible sur Internet : [www.cadmium.org](http://www.cadmium.org), consulté le 06/12/2020.

**Institut National de l'Environnement industriel et des Risques (2007).** Élaboration de nouvelles valeurs toxicologiques de référence pour l'arsenic. Rapport d'étude, INERIS, Paris, France, 41 p.

**Jang Y.-C., Somanna Y., Kim H. (2016).** Source, distribution, toxicity and remediation of arsenic in the environment, *International Journal of Applied. Environment. Science.*, 11(2) : 559-581.

- Jean-Pierre C. T., Simon Y., Charles T., Léandre I., Alfred F., Emmanuel E. (2013).** Health risk assessment of fluoride in drinking water: A case study from Arcahaie and Cabaret (Haiti), 4p.
- Jessen G., Divya L., Suriyanarayanan S. (2013).** Quantitative microbial risk assessment in the management of *Escherichia coli* strains via drinking water, *Journal Environment Reseach. Developement*, 2 (3): 128-135.
- João P. S. C. (2010).** Water Microbiology Bacterial Pathogens and Water, *International Journal of Environmental Research and Public Healt*, 7: 3657-3703.
- Johnson C. N., Flowers A. R., Noriea N. F., Zimmerman A. M., Bowers J. C., Depaola A., Grimes D. J. (2010).** Relationships between environmental factors and pathogenic Vibrios in the northern Gulf of Mexico, *Applied and environmental microbiology*, 76 (21): 7076-7084.
- Kahoul M., Touhami M. I. (2014).** Evaluation de la qualité physico-chimique des eaux de consommation de la ville d'Annaba (Algérie), *Larhyss Journal*, 19 : 129-138.
- Kaki C., Guedenon P., Kelome N., Edorh P. A., Adechina R. (2011).** Evaluation of heavy metals pollution of Nokoue Lake. *African Journal of Environmental Science and Technology*: 5 (3), 255-261.
- Kangombe T. K. (2020).** Approvisionnement en eau potable en milieu rural en République Démocratique du Congo face à l'Objectif 6 de Développement Durable, Exemple de la province du Maniema, Thèse de doctorat, Selinus University of science and littérature, 161p.
- Kanohin-Otchoumou F., Yapo O. B., Dibi B. Bonny A.C. (2017).** Caractérisation de la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux de puits de la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), *International Journal of Biological.and Chemical Science*, 11(5): 2495-2509.
- Karagas M. R., Gossai A., Pierce B. and Ahsan H. (2015).** Drinking Water Arsenic Contamination, Skin Lesions, and Malignancies: Systematic, *Review of the Global Evidence, Current Environmental Health Reports*, 2: 52-68.
- Kayalto B., Mbofung C. M. F., Tchatchueng J. B., Ahmed A. (2014).** Contribution à l'évaluation de la contamination par les métaux lourds de trois espèces de poissons, des sédiments et des eaux du Lac Tchad, *International Journal of Biological and Chemical Science*, 8(2): 468-480.

**Khettaf S. (2018).** Evaluation physico-chimique de l'eau d'un barrage et proposition d'un traitement adapté pour une eau de haute qualité, Thèse de Doctorat, *Université El-Hadj Lakhdar*, 268p.

**Khorsandi H., Mohammadi A., Karimzadeh S., Khorsandi J. (2016).** Evaluation of corrosion and scaling potential in rural water distribution network of Urmia, *Iranian Desalination and Water Treatment*, 57: 10585-10592.

**Kim M. J., Nriagu J., Haack S. (2003).** Arsenic behavior in newly drilled wells, *Chemosphere*, 52: 623-633.

**Koffi A. R. (2015).** Evaluation de la sécurité sanitaire à *salmonella* dans la filière avicole et de l'implication de souches aviaires dans les diarrhées humaines à Abidjan, Côte d'Ivoire, Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, 199 p.

**Koffi M. K., Assi Y. A., Saki J. S. Biego H. M. G. A. (2014).** Evaluation de l'exposition de la population aux métaux traces (cadmium, mercure, plomb) à travers la consommation des viandes et abats de bœuf et de porc importés, *International Journal of Biological and Chemical Science*. 8(4): 1594-1603.

**Konan S. K., Goue D. L., Ohou-Yao M. J., Kouame K. I., Kouassi L. K., Dongui K. B. (2017).** Qualité chimique des eaux de consommation des populations de la ville de Soubré (sud-ouest, Côte d'Ivoire). *International Journal Advanc, Research*. 6 (1): 58-65.

**Kouadio A. N. B., Yeo K. M, Aboua K. N., Gone D. L. (2017).** Demande en chlore et paramètres déterminant la consommation du chlore des eaux de puits traditionnels d'Agboville (Côte d'Ivoire), *Environmental and Water Sciences Public Health and Territorial Intelligence*, 1 (4) : 23-33.

**Kouadio K., Manizan N. P., Coulibaly K. J., Toure A. A., Dosso M. (2013).** Risque sanitaire liés à des eaux en sachet plastique vendues dans la ville d'Abidjan (Côte d'Ivoire), *revue Bio-Africa*, 11 : 31-37 .

**Kouakou K. A., Aw S., Adamou M. M., Siaka S., Savane I. (2014).** Caractérisation des sédiments du système lacustre de Yamoussoukro (Côte d'Ivoire) et spéciation de leurs phosphores (Characterization of sediments of Yamoussoukro lake system (Côte d'Ivoire) and their phosphorus speciation), *Journal.of Materiaux.and Environmental Sciences*. 5 (4) : 1013-1024.

**Kouakou -Sacoul J. G., Oga S., Claon M., Bama D., Koua M., Houénou Y., Kouadio L. K. (2012).** Conditions d'accès et de stockage de l'eau : enquête dans les ménages en zone périurbaine à Abidjan, *Santé publique*, 2 (24) : 133-142.

**Kouamé K. I., Goné D. L., Savané I., Koffi K., Koutouan L. E., Diallo M. (2006).** Caractérisation physico-chimique des eaux de forages du champ captant Nord Riviéra au voisinage de la décharge d'Akouédo (Abidjan-Côte d'Ivoire), *Science Nature*, 3(2) : 199-213.

**Kouame S. S. M. (2013).** Contribution à la gestion des risques de contamination microbienne et diversité génotypique des espèces du genre *bifidobacterium* isolées de la chaîne de production du lait local à Abidjan, Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua,, 222p.

**Koukougnon W. G. (2015).** Stratégies d'accès à l'eau potable dans un quartier défavorisé: cas de Gobelet dans la commune de Cocody (Abidjan-Côte d'Ivoire), *Revue Canadienne de Géographie Tropicale*, 2 (2) : 60-72.

**Kumar A., Taneja N., Bharti B., Sharma M. (2014).** Characterization of Shiga-toxigenic *Escherichia coli* isolated from cases of diarrhoea and haemolytic uremic syndrome in north India. *Indian Journal of Medical Research*, 140:778-784.

**Laghzal A., Salmoun F. (2014).** Contribution to the characterisation of the physico chemical quality of water of some springs in the region of tangier-tetouan (morocco), *Larhyss Journal*, 20: 7-24.

**Laurent F. (2013).** Agriculture et pollution de l'eau : modélisation des processus et analyse des dynamiques territoriales, Sciences de l'environnement, Thèse de doctorat, Université du Maine, 188. p.

**Lebres E. (2006).** Etude de prévalence et analyse du risque de *Listeria Monocytogénèse* dans les laits crus dans la région du centre, Thèse de doctorat, sciences vétérinaires, Centre Universitaire, El Tarf d'Algérie, 168 p.

**Lenoble V. (2003).** Elimination de l'arsenic pour la production d'eau potable : oxydation chimique et adsorption sur des substrats solides innovants, Thèse de Doctorat, Université de Limoges, Limoges, France, 165 p.

**Leufroy A. (2012).** Spéciation de l'arsenic dans les produits de la pêche par couplage HPLC/ICP-MS : Estimation de sa bioaccessibilité en ligne et applications à d'autres éléments traces métalliques d'intérêt, Thèse de Doctorat, Institut des Sciences et Industries du Vivant et de l'Environnement, Paris, France, 186 p.

**Lykkes A., Kvittingen L. (2003).** Arsenic, not so evil after all, *Journal of Chemical.*, 80: 497-500.

**Liliane J. (2007).** Mobilisation du chrome et du nickel à partir de sols contaminés, en présence de complexant : Transfert et accumulation de ces métaux chez *Datura innoxia*, thèse de Doctorat à l'Université de Limoges, 236p.

**Lim K. T., Shukor M. Y., Wasoh H. (2014).** Physical, chemical, and biological methods for the removal of arsenic compounds, *Biology Medical Research International.*, 1-9.

**Liu H., Chris A. W., Baoguang L. (2018).** Presence and Persistence of *Salmonella* in Water: The Impact on Microbial Quality of Water and Food Safety, *in public health*, 6: 1-13.

**Lombi E., Wenzel W. W., Adriano D. C. (2000).** Arsenic-contaminated soils: II. Remedial action, chap 33, *in Remediation engineering of contaminated soils*, Wise D. L., Trantolo D. J., Cichon E.J., Inyang H.I. and Stottmeister U., Dekker (Eds), New York, 739-758.

**Mahajan R. K., Khan S. A., Chandel D. S., Kumar N., Hans C. , Chaudhry R. (2003).** Fatal case of *Salmonella enterica sub sp. arizonae* gastroenteritis in an infant with microcephaly. *Journal of Clinical Microbiology*, 41 (12): 5830 - 5832.

**Maillard T., Brou O., D. Soro , N'Guessan F. (2019).** Accès à l'eau potable dans la ville de Bouaké (Côte d'Ivoire), Urgence Eau-Rapport Bouaké, 11 p.

**Majowicz S. E., Musto J., Scallan E., Angulo F. J., Kirk M., O'Brien S. J., Jones T. F., Fazil A. ,Hoekstra R.M. (2010).** The global burden of nontyphoidal *Salmonella* gastroenteritis, *Clinical Infectious Diseases*, 50 (6):882–889.

**Malago J., Makoba E., Muzuka A. N. N (2017).** Fluoride Levels in Surface and Groundwater in Africa, *Review American Journal of Water Science and Engineering*, 3(1): 1-17.

**Mama D. (2010).** Méthodologie et résultats du diagnostic de l'eutrophisation du lac nokoue (Benin), Thèse de Doctorat, Université de Limoges, 177p.

- Manizan P. N., Aboli A. T., N'douba K. A., Dosso M. (2011).** Health risk assessment of water in plastic bag sold in the city of Abidjan (Côte d'Ivoire, West Africa), *Revue Ivoirien Science Technology*, 17: 143- 150.
- Manlius N., Battaglia-Brunet F., Michel C. (2009).** Pollution des eaux par l'arsenic et acceptabilité des procédés de biotraitement, Rapport final, BRGM/RP-57640, Paris, France, 173 p.
- Maoudombaye T., Ndoutamia G., Seid ali M., ngakou A. (2015).** Etude comparative de la qualité physico-chimique des eaux de puits, de forages et de rivières consommées dans le bassin pétrolier de Doba au Tchad, *Larhyss Journal*, 24 : 193-208.
- Martini L., Moutou J. M., Kongo M. S. (2009):** Evaluation hydro-chimique des eaux souterraines en milieu urbain au Sud-Ouest de Brazzaville, Congo, *Afrique Science*, 05 (1) : 82 -91.
- Matiatos I., Evelpidou N. (2013).** Assessment of groundwater quality contamination by nitrate leaching using multivariate statistics and Geographic Information Systems. In: Arheimer, B. (Ed.) Understanding freshwater quality problems in a changing world 361, *International Association of Hydrological Science Publish*, 1 (2) : 183–190.
- MBra R. K., Koné B., Kouakou É. Y., Silué B., Cissé G., Soro N. (2015).** Approvisionnement en eau potable, qualité de la ressource et risques sanitaires associés à Korhogo (Nord-Côte d'Ivoire), *Environ Risque Santé*, 142: 30-241.
- McNally B., Griffin J. L., Roberts L. D. (2016).** Dietary inorganic nitrate: From villain to hero in metabolic disease? *Molecular Nutrition and Food Research*, 60 : 67-78.
- Mé linda M. (2013).** Impact de l'arsenic inorganique sur la physiologie in vitro des cellules dendritiques humaines Médecine humaine et pathologie, Université Rennes à l'Université Rennes, Français, 167p.
- Messou A. (2015).** Caractérisation de la pollution des sols en éléments traces métalliques et évaluation des capacités de phytoaccumulation de certaines espèces endogènes *d'Amaranthaceae et de Poaceae* de la décharge d'Akouédo (Abidjan, Côte d'Ivoire). Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua, Abidjan, Côte d'Ivoire, 169 p.
- Miquel M. G. (2001).** Les effets des métaux lourds sur l'environnement et la santé, Rapport 261, Office Parlementaire d'Evaluation des Choix Scientifiques et Technologiques, 365p.

**Ministère de l'Environnement, de la Salubrité Urbaine et du Développement Durable (2013).** Etudes pour la réhabilitation de la décharge d'Akouédo. Rapport d'étude, MINESUDD, Abidjan, Côte d'Ivoire, 143 p.

**Murray A., Lantagne D. (2015).** Accuracy, precision, usability and cost of free chlorine residual testing methods, *Journal of Water and Health*, 1 (13): 79- 90.

**N'Diaye A. (2008).** Etude Bactériologique des eaux de boissons vendues en sachet dans quatre communes d'Abidjan. Thèse de Doctorat, Université de Bamako, 166p.

**N'diaye A. D., Kankou M. O., Sarr A. D., Lo B. (2010).** Essai d'évaluation de la turbidité des effluents de la ville de Nouakchott, *Revue Ivoirienne Sciences et Technologie*, 16 : 69-81.

**Ngaram N. (2011).** Contribution à l'étude analytique des polluants (en particulier de type métaux lourds) dans les eaux du fleuve Chari lors de sa traversée de la ville de N'Djamena. Thèse de Doctorat, Université De Lyon, France, 164 p.

**N'guettia G. K., Mangoua J. M. Aboua N. K, Douagui A. G., Gone L. D. (2019).** Caractérisation hydrogéochimique des eaux souterraines du bassin versant de la Baya, Est Côte d'Ivoire, *International Journal of Biological and Chemical Science*, 13(1): 574-585.

**Nguyen-Derochet. L. N., De Gouvello B., Lucas F., Garrec N., Gromairem. C. (2013).** Evaluation de la qualité de l'eau de pluie en vue de son utilisation : vers la définition de paramètres pertinents et de protocoles adaptés, *European Journal of Water Quality*, 44 : 112.

**Nicolas X., Granier H., Le Guen P. (2007).** Shigellose ou dysenterie bacillaire, *Presse Médicale*, 36(11) : 1606-1618.

**Nicolas E. (2010).** Discrimination et traçage isotopique des sources anthropiques du mercure dans l'environnement, Thèse de Doctorat à Université de Pau et des Pays de l'Adour, r, 239 p.

**Nisa I., Qasim M., Yasin N., Ullah R. ,Ali A. (2020).** *Shigella flexneri* an emerging pathogen, *Folia Microbiol* 65: 275-291.

**Nkoko A. (2009).** Dynamique des épidémies de choléra dans la région des grands lacs africains : cas de la république démocratique du Congo, Thèse de doctorat, Université de Franche-comte, 175p.

**Odoulami L. (2009).** La problématique de l'eau potable et la santé humaine dans la ville de Cotonou (République du Bénin). Thèse de Doctorat, Université d'Abomey-Calavi, Géographie et Gestion de l'Environnement, 230 p.

- Oga Y. M. S., Koffi K .Y .A., Yao N., Kpan J.G., Kouamé Y., Biémi J (2016).** Caractéristiques hydrogéologiques de l'intervalle 177 - 79 m du forage d'Abouabou (Abidjan, Côte d'Ivoire): paramètres physico-chimiques, *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 21 (1) : 81-91.
- Olivier A. (2005).** Chimie et pollution des eaux souterraines, Edition, TEC et DOC : 390p.
- OMS (2007).** Rapport sur la santé mondiale. Un avenir plus sûr: la sécurité sanitaire mondiale au XXIe siècle, 22p.
- OMS (2008).** Directive de la qualité pour l'eau de boisson, Recommandation, Genève, 71p.
- OMS (2011).** Guideline to Drinking Water Quality (fourth edition). ISBN 978 92 41548151 (NLM classification: 675), 564p.
- OMS (2017).** Directives de qualité pour l'eau de boisson : 4<sup>e</sup> édition, intégrant le premier additif, 564p.
- OMS (2017).** Recyclage des batteries au plomb usagées : considérations sanitaires [Recycling used lead-acid batteries: health considerations] ISBN 978-92-4-251285, 56p.
- OMS (2018).** Stratégie de l'OMS sur l'eau, l'assainissement et l'hygiène 2018-2025, 72p
- OMS et UNICEF (2017).** Progrès en matière d'alimentation en eau et d'assainissement: Rapport 2017: ISBN 978-92-4 251289-2 (Classification NML: WA 670), 116p.
- ONU (2018).** Rapport de synthèse sur l'objectif de développement durable 6 relatif à l'eau et à l'assainissement, 16p.
- Orou R. K., Coulibaly K. J., Tanoh G. A., Ahoussi E. K., Kissiedou P. E. K., Soro D.T. , Soro N. (2016).** Qualité et vulnérabilité des eaux d'aquifère d'altérites dans les sous-préfectures de grand-morié et d'Azaguié dans le département d'Agboville au sud-est de la côte d'ivoire, *Revue. Ivoirien Sciences Technologie*, 28 : 243 - 272.
- Oulhote Y. (2012)** Contribution de l'environnement résidentiel à l'exposition au plomb des enfants de 6 mois à 6 ans en France, Thèse de Doctorat, Université de Lorraine, 194p
- Ottawa O. (2011).** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique *Santé Canada*, 81p.

- Ouattara A., Meite A., Dally T., Ouattara H., Kati-C. S (2016).** Étude de la qualité des eaux de consommation dans la localité de N’Zia Nouan s/p de Tiassalé et des quartiers précaires de trois communes du District d’Abidjan (Koumassi, Treichville, Attécoubé), *Journal of Applied Bioscience.*, 102: 9708 - 9715.
- Pacyna E. G., Pacyna J. M., Fudala J., Strzelecka-Jastrzab E., Hlawiczka S., Panasiuk D. (2006).** Mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic sources in Europe in 2000 and their scenarios until 2020, *Science of the Total Environment*, 370, 147- 156.
- Pascal D. et Bruno L. (2013).** Plomb et qualité de l’eau potable. Rapports conseil général de l’environnement et du développement durable, 80 p.
- Peyre R. (2011).** La méthode de Monte-Carlo. <http://www.normalesup.org/~rpeyre/pro/enseignement/MC12.pdf>. Consulté le 13 mars 2018.
- Pichard A., Bisson M., Houeix N., Gay G., Jolibois B., Lacroix G., Lefevre J. P., Magaud H., Morin A., Rose M., Tissot S. (2005).** Nickel et dérivées. -Fiche de données toxicologiques et environnementales des substances chimiques, INERIS, Paris, France, 65 p.
- Poda J. N. (2007).** Les maladies liées à l’eau dans le bassin de la Volta : état des lieux et perspectives. Volta Basin Focal Project Report No 4. IRD, Montpellier, France, 87 p.
- Popoff M. Y, Bockemuhl J., Gheesling L. L. (2003).** Supplement 2001 to the Kauffmann-White scheme, *Research in Microbiology*, 154: 173-174.
- Pui C. F., Wong W. C., Chai L. C., Tunung R., Jeyaletchumi P., Noor Hidayah M. S., Ubong A., Farinazleen M. G., Cheah Y. K., Son R. (2011).** *Salmonella* A foodborne pathogen International Food, *Research Journal*, 18: 465-473.
- Qasim B. (2015).** Détermination, spéciation et biodisponibilité des éléments traces métalliques dans les sols contaminés et technosols, Thèse de Doctorat, Université d’Orléans, 279p.
- Radaideh J., Al-Zboon K., Al-Harabsheh A., Al-Adamat R. (2009).** Quality assessment of harvested rainwater for domestic uses. *Jordan Journal. Earth Environmental Science*, 2(1) : 26-31.
- Rasheed H., Kay P., Slack R., Gong Y. Y. Carter A. (2017).** Human exposure assessment of different arsenic species in household water sources in a high risk arsenic area, Science of the total Environment, *Science of the Total Environment* 584:631–641.

**Rasool A., Farooqi A., Masood S., Hussain K. (2016).** Arsenic in groundwater and its health, *Science of the Total Environment* 84: 31–42.

**Rheault N. (2005).** Évaluation et gestion du risque associé à la présence de *Salmonella spp.* chez le porc à l'abattoir, Thèse de Doctorat, Université de Montréal, Québec, Canada, 198 p.

**Rigaux C. (2013).** Méthodes de Monte Carlo du second ordre et d'inférence bayésienne pour l'évaluation des risques microbiologiques et des bénéfices nutritionnels dans la transformation des légumes, Thèse de Doctorat, Université de Paris Tech, 206p.

**Rytuba J. J. (2003).** Mercury from mineral deposits and potential environmental impact, *Environmental Geology* 4 : 326-338.

**Sackou K. I., Attia A. R., Claon J. S., Berthé I., Jibikilayi M., Kouadio L. (2010).** Analyse qualitative de l'accès à l'eau dans les quartiers précaires du district d'Abidjan, *Cahier Santé Publique*, 9(1) : 7-15.

**Safa A., Sultana J., Cam P. James D., Mwansa C., Richard Y., Kong C. (2008).** *Vibrio cholerae* O1 hybrid El Tor strains, *Asia and Africa*, 14(6): 987-988.

**Samadder S. R., Prabhakar R., Khan D., Kishan D., Chauhan M. S. (2017).** Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: a case study. *Science. Total Environment*, 580 : 593-601.

**Sammut M. (2007).** Spéciation du cadmium, du plomb et du zinc dans les poussières d'émissions atmosphériques d'origine sidérurgique approche de l'impact toxicologique des poussières, Thèse de Doctorat, Université Paul Cézanne, Marseille III, 334p.

**Sanaa M., Cerf O (2002).** La démarche d'analyse quantitative des risques de maladies infectieuses transmises par les aliments, *Épidémiologie et Santé Animale*, 41 ; 157-168.

**Sánchez-Rodas D., Gómez-Ariza J. L., Giráldez I., Velasco A. and Morales E. (2005).** Arsenic speciation in river and estuarine waters from southwest Spain, *Science. Total Environment*, 345 : 207-217.

**Sangare N., Yao K. M., Kkwa-Koffi E, N.L B. Kouassi, M B Soro, A M Kouassi (2016).** Évaluation de la qualité des ressources en eau près de la décharge urbaine non contrôlée d'Akouédo par le calcul des risques cancérigènes et des indices de pollution, *Côte d'Ivoire, Afrique Science*, 12 (5) 279-290

**Santé Canada (2006).** Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada : document technique-l'arsenic. Santé Canada, Ottawa, Ontario, 40 p.

**Santos D. S. (2006)** « Accès à l'eau et enjeux socio-sanitaires à Ouagadougou-Burkina Faso », Espace Populations Sociétés, 271-285.

**Scallan E., Hoekstra R. M., Angulo F. J., Tauxe R. V., Widdowson M. A., Roy S. L. (2011).** Foodborne illness acquired in the United States-(major pathogens, *Emerging Infectious Diseases*, (1):7-15.

**Scheren P. A. G. M., Kroeze C., Janssen F. J. J. G., Horgijk L. and Ptasinski K. J. (2004).** Integrated water pollution assessment of Ebrié lagoon, Ivory Coast, West Africa, *Journal of Marine Systems.*, 44 : 1-17.

**Schlundt J. (2002).** L'évaluation du risque comme outil de gestion du risque : Le cas des contaminants microbiens. Gestion de la sécurité des aliments dans les pays en développement. Actes de l'atelier international, *CIRAD-FAO Montpellier, France CIRAD FAO*, 120 p.

**Servais P., Billen G., Garcia-Armisen T., George I., Goncalvez A. et Thibert S. (2009).** La contamination microbienne dans le bassin de la Seine, Edition, *Agence de l'Eau Seine Normandie*, 49 p.

**Shahin K., Bouzar M., Wang R. (2018).** Complete genome sequence analysis of a lytic Shigella flexneri vB\_SflS-ISF001 bacteriophage, *Turkish Journal of Biology*, 43: 99-112.

**Shu-Kee E., Priyia P., Nurul-Syakima A. M., HooiLeng S., Kok-G. C., Learn-H .L . (2015).** *Salmonella*, epidemiology and antibiotic resistance, *Frontiers in Life Science*, 8(3): 284-293.

**Sheth A. N., Hoekstra M., Patel N., Ewald G., Lord C., Clarke C., Villamil E., Niksich K., Bopp C., Nguyen T. A., Zink D., Lynch M. (2011).** A national outbreak of Salmonella serotype Tennessee infections from contaminated peanut butter: a new food vehicle for salmonellosis in the United States, *Clinical Infectious Diseases*, 53(4):56-62.

**Sibel Y, Ahmet A (2006).** Concentration of heavy metals in the food web of Lake Egirdir, Turkey, *Journal of Environmental Biology*, 27(3): 475-478.

**Smati, M., Clermont A. O., Bleibtreu F. F., David A. A.-S., Daubie C. H., Loison O. B. P., Denamur. E. (2015).** Quantitative analysis of commensal Escherichia coli populations reveals host-specific enterotypes at the intra-species level, *Microbiology Open*, 4 (4):604-615.

- Sokegbe O. Y., Djeri B., Kogno E., Kangnidossou M., Mensah R. T., Soncy K., Ameyapoh Y. (2017).** Les risques sanitaires liés aux sources d'eau de boisson dans le district n°2 de Lomé-commune : cas du quartier d'Adakpamé, *International Journal Biological and Chemical Science*, 11 (5) : 2341-2351.
- Somé Y. S. C., T. Soro D., Ouedraogo S. (2014).** Étude de la prévalence des maladies liées à l'eau et influences des facteurs environnementaux dans l'arrondissement de Nomgr-Masson : cas du quartier Tanghin (Ouagadougou-Burkina Faso), *International. Journal of Biological and Chemical. Sciences*, 8(1): 289-303.
- Soncy K., Djeri B., Anani K., Eklou-Lawson M., Adjrah Y., Karou D. S., Ameyapoh Y. et Souza C. (2015).** Évaluation de la qualité bactériologique des eaux de puits et de forage à Lomé, Togo, *Journal of Applied Biosciences*, 91: 8464-8469.
- Soubra L. (2008).** Evaluations scientifiques des risques toxiques liés à certaines substances chimiques (additifs alimentaires) et contaminants (mycotoxines), Thèse de Doctorat, Université Agro Paris Tech, 224 p.
- Sy I. M., Koita D., Traoré M., Keita B. Lô, M. Tanner, G Cissé (2011).** Vulnérabilité sanitaire et environnementale dans les quartiers défavorisés de Nouakchott (Mauritanie) : analyse des conditions d'émergence et de développement de maladies en milieu urbain sahélien, *revue électronique en sciences de l'environnement*, 11(2) :17p.
- Tallon P., Magajna B., Lofranco C., Leung K.T. (2005).** Microbial indicators of faecal contamination in water: A current perspective *Water Air and Soil Pollution* 24(4): 139-166.
- Tampo L., Ayah M., Kodom T., Tchakala I., Boguido P., Bawa L., Djaneye B., (2014).** Impact de la demande en chlore et de la chloration sur la désinfection des eaux de puits des quartiers de Lomé : cas des quartiers de Démakpoé et d'Agbalépédogan (Togo), *Journal of Applied Biosciences*, 75 : 6272 - 6281.
- Tanouayi G., Gnandi K., Ahoudi H., Ouro-Sama K. (2015).** La contamination métallique des eaux de surface et des eaux souterraines de la zone minière d'exploitation des phosphates de Hahotoe-Kpogame (Sud-Togo) : cas du cadmium, plomb, cuivre et nickel, *Larhyss Journal*, 21: 25-40.
- Teunis P., Takumi K., Shinagawa K. (2004).** Dose Response for Infection by *Escherichia coli* O157:H7 from Outbreak Data, *Society for Risk Analysis*, 24 (2): 401-407.

- Thomassin J. F., Touzé S. et Baranger P. (2003).** Le mercure et ses composés. Comportement dans les sols, les eaux et les boues de sédiments, BRGM/RP51890-FR, 119 p.
- Todd E. C., Greig J. D., Bartleson C. A., Michaels B. S. (2008).** Outbreaks where food workers have been implicated in the spread of foodborne disease. Part5. Sources of contamination and pathogen excretion from infected persons, *Journal of food protection*, 71: 2582-2595.
- Tohouri P., Soro G., Ahoussi K. E., Adja M. G., Ake G. E., Biemi J. (2016).** Pollution par les éléments traces métalliques des eaux de surface en période de hautes eaux de la région de Bonoua (sud-est de la Côte d'Ivoire), *Larhyss Journal*, 29 : 23-43.
- Toma B., Dufour B., Sanaa M. (2002).** Généralités sur l'analyse de risque. *Epidémiologie et santé animale*, 41 : 517.
- Trabelsi S. (2012).** Études de traitement des lixiviats des déchets urbains par les procédés d'oxydation avancée photochimiques et électrochimiques : application aux lixiviats de la décharge tunisienne "Jebel Chakir". Thèse de Doctorat, Université de Paris- Est, France, 225 p.
- Traore A., Ake-Assi Y., Ahoussi K. E., Soro N. (2015).** Évaluation de la concentration des éléments traces (pb, cu, zn, fe, cd et hg) dans les crevettes (*macrobrachium vollehovenii*) des lagunes aghien et potou (sud-est de la côte d'ivoire, *Larhyss journal*, 24: 129-142.
- Traore S. G. (2013).** Risques de contraction des affections à *vibrio* sp. et *aparagonimus* sp. liés à la consommation des crabes et des crevettes vendus sur les marchés d'Abidjan et de Dabou, Thèse de Doctorat, Université Nangui Abrogoua (Côte d'Ivoire), 198p.
- Tuo P., Coulibaly. M., Coulibaly M. (2017).** Accès à l'eau potable et risques de maladies diarrhéiques dans les quartiers Gonzagueville et Jean-folly de la commune de Port-Bouet (Abidjan, Côte d'Ivoire), *International. Journal of Advanced. Studies. Research. Africa.*, 8 (1): 1- 11.
- UE (1998).** Directive du conseil 98/83/EC sur la qualité de l'eau attendue pour la consommation humaine, adoptée le 3 novembre 1998. (Consulté le 06 Mai 2018), <http://www.lenntech.fr/applications/potable/normes/normes-ue-potable.htm>.
- Ullah R., Sohail Z. M. , Shahani N. (2017).** Potential fluoride toxicity from oral medications: A review, *Iranian Journal of Basic Medical Sciences*, 20:841-848.

**Ullrich S. M., Tanton T. W., Abdrashitova S. A. (2001).** Mercury in aquatic environment: a review of factors affecting methylation, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 31(3), 241-293.

**UNICEF (2008).** UNICEF handbook on water quality, New York, UNICEF, pp 4-78.

**United Nations Environment Programme (UNEP) (2010).** Principales conclusions scientifiques concernant le plomb, 12 p.

**United Nations of Education, Scientific and Cultural Organization (2006).** L'eau, une responsabilité partagée. 2e rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau, Paris, France, 584 p.

**US EPA. (2007).** User's Guide for the Integrated Exposure Uptake Biokinetic Model for Lead in Children (IEUBK) Windows. Washington: US Environmental Protection Agency..

**USGS (2008).** Mineral Commodity Summaries, Cadmium. pp. 42–43.

**Valko M., Rhodes C. J., Moncol J., Mazur M. (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemical Biological Interaction*, 160: 1-40.

**Vandenbergh C. (2012).** Mise en relation de l'évolution de l'agriculture et de la qualité de l'eau entre 1950 et 2000. *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, 14(1) : 9-16.

**Varela, G., L. Batthyány, M. N. Bianco, W. Pérez, L. Pardo, G. Algorta, L. Robino, R. Suárez, A. Navarro, M. C. Pérez, F. Schelotto. (2015).** Enteropathogens associated with acute diarrhea in children from households with high socioeconomic level in urugua, *International Journal of Microbiology*. 2:59- 2953.

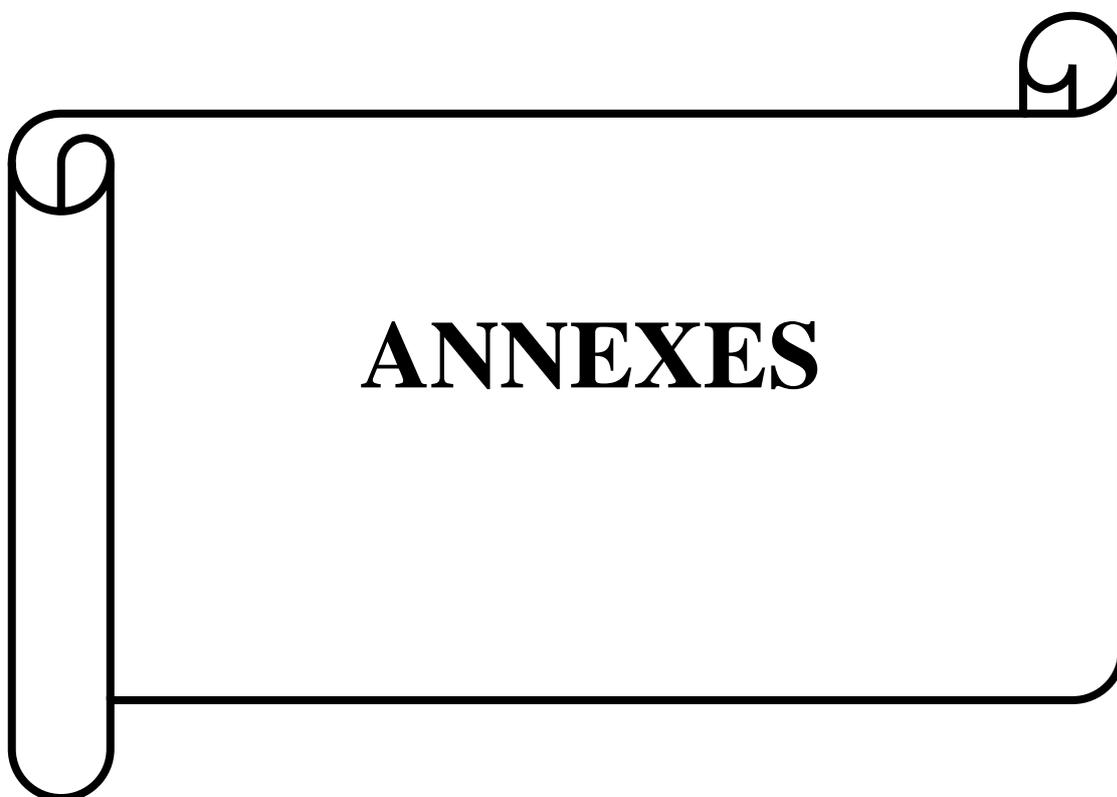
**Verhille S. (2013).** Les indicateurs microbiens dans l'évaluation de l'eau potable : interpréter les résultats de laboratoire et comprendre leur signification pour la santé publique, Centre de collaboration nationale en santé environnementale, 87p.

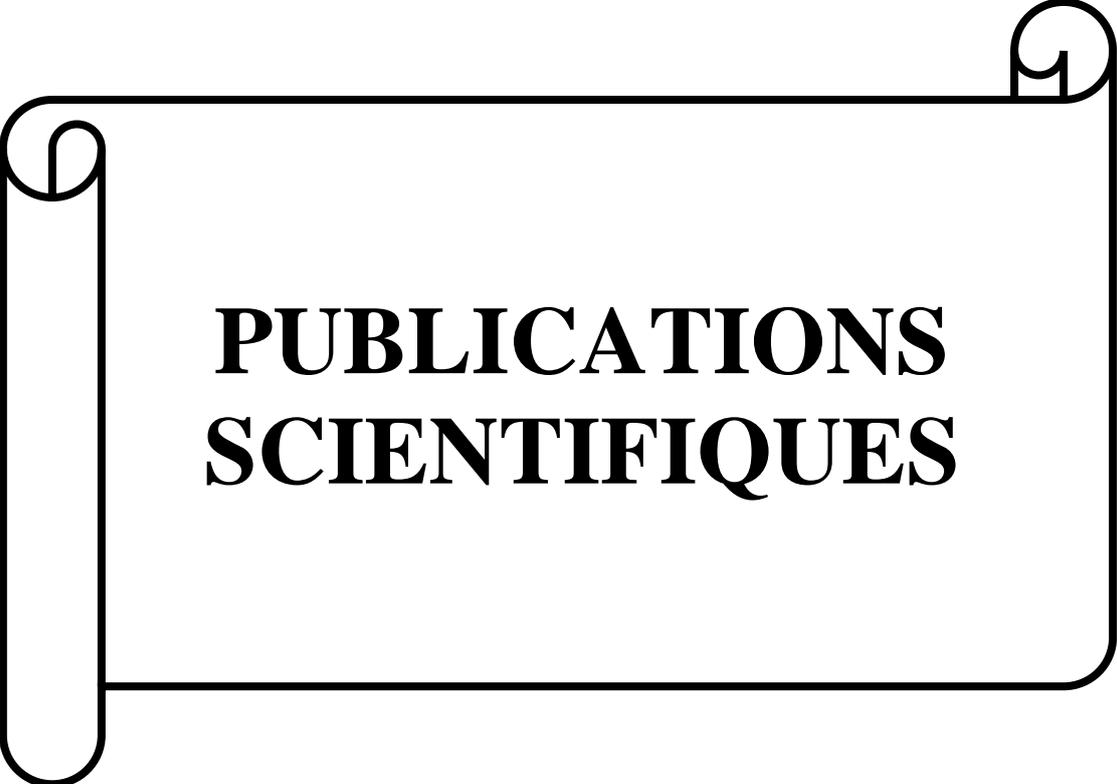
**Wang H., Tang X., Su Y. C., Chen J., Yan J. (2017).** Characterization of clinical *Vibrio parahaemolyticus* strains in Zhoushan, China, from 2013 to 2014, *PLoS ONE* 12(7): 1-9..

**Ward M. H., Jones R. R., Brender J. D., Kok T. M., Weyer P. J., Nolan B. T., Villanueva C. M. and Breda S. G. V. (2018).** Drinking Water Nitrate and Human Health: An Updated, Review, *International Journal Environment Reseach Public Health*, 5(7):1547-1557.

- Waseem A., Arshad J., Iqbal F., Sajjad A., Zahid-Mehmood, Murtaza G. (2014).** Pollution Status of Pakistan: A Retrospective Review on Heavy Metal Contamination of Water, Soil, and Vegetables. *BioMed Research International*, 29p.
- Wikoff D. S., Thompson C., Rager J., Chappell G., Fitch S., Doepker C. (2018).** Benefit-risk analysis for foods (BRAFO): Evaluation of exposure to dietary nitrates, *Food and Chemical Toxicology*, 8:1-70.
- WHO (2008).** Initiative to estimate the global burden of foodborne diseases: a growing risk.
- WHO (2020).** Global report on the epidemiology and burden of sepsis: current evidence, identifying gaps and future directions, 56p.
- Worm J., Hattum T.V. (2006).** La collecte de l'eau de pluie à usage domestique, *Agrodok* 43, 86p.
- Xie J., Sun X., Pan Y., Zhao Y. (2012).** Combining basic electrolyzed water pretreatment and mild heat greatly enhanced the efficacy of acidic electrolyzed water against *Vibrio parahaemolyticus* on shrimp, *Food Control*, 23(2):320-331.
- Yang, K., Liang X. (2011).** Fluoride in Drinking Water: Effect on Liver and Kidney Function A2 - Nriagu, J.O. *Encyclopedia of Environmental Health, Elsevier, Burlington*, 45: 769-775.
- Yano Y., Hamano K., Satomi M., Tsutsui I., Ban M., Aue-umneoy D. (2014).** Prevalence and antimicrobial susceptibility of *Vibrio* species related to food safety isolated from shrimp cultured at inland ponds in Thailand, *Food Control*, 38: 30-36.
- Yapi Y. H. A., Dongui B. K., Trokourey A., Barima Y. S. S., Essis Y, Atheba P. (2014).** Evaluation de la pollution métallique des eaux souterraines et de surface dans un environnement minier aurifère à Hiré (Côte d'Ivoire), *International Journal Biological Chemical Science*, 8 (3):1281-1289.
- Yapo O. B., Mambo V., Seka A., Ohou M. J. A., Konan F., Gouzile V., Tidou A.S., Kouame K.V., Houenou P. (2010).** Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés de quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Koumassi, Marcory, Port-Bouet et Treichville, *International Journal of Biological and Chemical Science*, 4: 289-307.

- Yapo R. I., Mambo V., Aldera C. Ohou-Yao M. I., Ligban R., Dao D., Stamm C , Bbonfoh B. (2016).** Caractérisation saisonnière des eaux de puits à usage maraîchère et domestique de Korhogo (Côte d'Ivoire). *International Journal of Biological and Chemical Science*, 10 (3): 1433-1449.
- Yao T. k., Oga M-S., Fouche O., Baka D., Pernelle C., Biemi J. (2012).** Evaluation de la potabilité chimique des eaux souterraines dans un bassin versant tropical : cas du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *International Journal Biological Chemical. Science.*, 6 (6): 7069-7089.
- Yousefia M., Ghoochania M., Mahvi H. A. (2017).** Health risk assessment to fluoride in drinking water of rural residents living in the Poldasht city, Northwest of Iran, *Ecotoxicology and Environmental Safety* 148:. 426–430
- Zaw M. T., Emran N. A., Ibrahim M. Y., Suleiman M., Mohd T. A. A, Yusuff A. S., Naing K. S., Myint T., Jikal M., Salleh M. A., Lin Z. (2018).** Genetic diversity of toxigenic *Vibrio cholerae* O1 from Sabah, Malaysia 2015, *Journal of Microbiology, Immunology and Infection*, 3: pp.1-8.
- Zhang S., Niu Q., Gao H., Ma R., Lei R., Zhang C., Xia, T., Li P., Xu C., Wang C. (2016).** Excessive apoptosis and defective autophagy contribute to developmental testicular toxicity induced by fluoride, *Environmental Pollution*, 212: 97-104.
- Zhang Y., Xuc B., Guoa Z., Hanb J., Lia H., Jin L. , Chena F. (2019).** Yuqing Xiong Human health risk assessment of groundwater arsenic contamination in Jinghui irrigation district, China, *Journal of Environmental Management*, 237: 163-169.
- Zheng W. and Hintelmann, H. (2010).** Isotope Fractionation of Mercury during its photochemical reduction by low-molecular-weight organic compounds, *Journal Physical and Chemical*, 114 (12): 4246–4253.
- Zhou Y., Zhu X., Hou H., Lu Y., Yu J., Mao L. , Mao L. , Sun Z. (2018).** Characteristics of diarrheagenic *Escherichia coli* among children under 5 years of age with acute diarrhea: a hospital based study, *BMC Infectious Diseases*, 18 (1): 1-10.
- Zielonka U., Krupanek J., Suschka J., Worsztynowicz A. and Dzialoszynska-Wawrzekiewicz M. (2009).** An Inventory and assessment of options for reducing emissions: Cadmium, Control of Priority Substances in Europe, Stockholm, SOCOPSE. 4 -18





**PUBLICATIONS  
SCIENTIFIQUES**