CHAPITRE 1 : GENERALITES

1.1 INTRODUCTION GENERALE

L'eau est indispensable à la vie, et pourtant un ensemble de facteurs en réduisent toujours plus la disponibilité: croissance démographique, production agricole, pauvreté, mauvaise gestion des ressources en eau ou troubles politiques. Les ressources en eau potable se raréfient sur terre, alors que les besoins s'accroissent au jour le jour. "Comment peut-on accepter qu'au début du 21ème siècle, plus d'un milliard d'habitants de notre planète n'aient pas accès à l'eau potable; plus de deux milliards d'entre eux ne disposent pas d'un assainissement de base; des millions d'enfants meurent chaque année à cause de maladies liées à l'eau … Nous n'avons aucune excuse" [Louis Michel, Commissaire européen au Développement et à l'Aide humanitaire]

Avoir de l'eau à disposition en quantité suffisante et en qualité contribue au maintien de la santé. Elle peut être aussi source de maladie du fait de sa contamination par des déchets ménagers, industriels, agricoles, par des excréta et divers déchets organiques. La pollution de l'eau est un phénomène mondial qui n'épargne ni les océans, ni les eaux terrestres. Elle met en cause, par le biais des chaînes alimentaires, la santé des populations [1]. Les besoins en eau augmentent sans cesse à cause de la croissance démographique, du développement de l'industrie et l'accroissement des activités humaines qui à leur tour engendrent une pollution des ressources disponibles les rendant ainsi impropres à la consommation. La pollution de l'eau engendrée par le développement de l'industrie et la diversité des activités humaines a fait

qu'aujourd'hui, l'eau potable est devenue une denrée rare surtout dans les pays en développement [2]. L'eau est une ressource aussi précieuse que vitale et les hommes doivent en disposer en quantité et en qualité. L'accès à une eau de boisson saine est incontestablement bénéfique pour la santé. Pour F. Mayor, ancien directeur général de l'UNESCO, "cette ressource rare, essentielle pour la vie, doit être considérée comme un trésor naturel faisant partie de l'héritage commun de l'humanité" [3] et par conséquent, pour certains, "un bien public qui doit demeurer sous contrôle public" [3,4]. Cette ressource indispensable à la vie, non substituable, et, qui plus est, existant en quantités fixes, pourrait devenir au prochain siècle l'enjeu de conflits géopolitiques et commerciaux de grande envergure [5]. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S) 2,6 milliards de personnes dans le monde n'ont pas accès à l'eau potable et 1,8 millions dont 90% d'enfants de moins de cinq ans en meurent chaque année surtout dans les pays en développement où les mesures d'hygiène et les infrastructures sanitaires de base sont insuffisantes ou inexistantes [6] et 80 % des causes de morbidité dans le monde sont d'origine hydrique [7]. Dans les mécanismes vitaux, l'eau joue à la fois le rôle de support, de véhicule de germes indices de pollution qui sont pour la plupart d'origine fécale. La gastro-entérite est la maladie la plus fréquemment associée à l'ingestion d'eau contaminée par des matières fécales et entraîne des conséquences très graves sur la santé [8-9]. D'autres maladies plus rares comme les hépatites ou les méningites peuvent aussi être provoquées par l'ingestion d'eau contaminée.

L'importance de l'eau dans l'économie ne cesse de croître et sa disponibilité devient de plus en plus difficile tant en raison des aléas climatiques que de l'accroissement

rapide de la population. La qualité de l'eau de boisson est un problème de santé universel. L'eau est essentielle pour la vie, mais elle peut transmettre et transmet des maladies dans les pays de tous les continents des plus pauvres aux plus riches. Les métaux lourds sont des polluants engendrés par l'activité humaine qui ont un fort impact toxicologique. Les métaux toxiques sont nombreux, mais on peut citer surtout le cadmium, le mercure, le plomb et l'arsenic. Ils ont des impacts sur les végétaux, les produits de consommation courante et sur l'homme.

L'eau, une ressource essentielle, est utilisée à des fins alimentaires, d'hygiène corporelle, ou récréatives, nécessitant un haut niveau de qualité physico-chimique, chimique et microbiologique. Les substances qu'elle transporte sont en effet susceptibles d'être ingérées, inhalées, ou d'entrer en contact avec la peau. L'importance de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène pour la santé et le développement transparaît dans les conclusions de nombreux fora politiques internationaux. Il s'agit des conférences axées sur la santé telle que la Conférence Internationale sur les Soins de Santé Primaires (SSP), tenue en 1978 à Alma-Ata (Kazakhstan en ex-Union soviétique). Il y a également les conférences axées sur l'eau comme la Conférence mondiale de Mar Del Plata (Argentine). Ces rencontres ont ouvert la voie à la Décennie de l'eau de boisson et de l'assainissement (1981-1990) au cours de laquelle l'accent a été mis sur l'approvisionnement en eau potable et sur l'assainissement de base , aux Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD) adoptés par l'Assemblée générale des Nations Unies en 2000 et aux résultats du Sommet mondial de Johannesburg pour le développement durable en 2002. Le but visé par ces rencontres internationales est d'élever le niveau de santé et de

production des populations, de faire régresser les maladies infectieuses véhiculées par l'eau [10]. Mais au terme de la décennie, il a été constaté qu'aucune amélioration notable, relative à la fréquence des maladies infectieuses n'a été observée. Il s'agira de mettre à la disposition de la population de l'eau potable et des dispositifs adéquats d'assainissement [10].

Le cycle naturel d'autoépuration de l'eau a des limites aujourd'hui dépassées. Parallèlement, les besoins d'eau augmentent dans tous les pays ; ils sont en France par exemple d'environ 200 l par habitant et par jour [11]. Au Bénin, dans cette période, l'objectif fixé dans ce domaine a été de fournir à 80 % de la population de l'eau potable avec 60 litres par jour à chaque habitant du milieu urbain et 10 à 20 litres par jour à chaque habitant en milieu rural [12]. A la fin de cette décennie, l'objectif fixé n'a pas été atteint : 58 % seulement de la population a été couverte en eau potable en zone rurale et 24 % en zone urbaine. La fréquence des maladies d'origine hydrique n'a pas connu d'amélioration à l'issue de la décennie internationale.

La qualité de l'eau dépend de plusieurs facteurs :

- facteurs physiques ;
- chimiques ;
- bilogiques ;
- humains.

Plus récemment, l'Assemblée générale des Nations Unies a déclaré la période allant de 2005 à 2015 ''Décennie internationale d'action'' avec pour thème « L'eau, source de vie » [13]. Dans la nature, l'eau véhicule en particulier nombre de micro-

organismes (bactéries, virus, parasites et champignons) de tout genre, qui y vivent et s'y développent. L'accès à une eau de boisson salubre et à des moyens d'assainissement de base sont donc essentiels pour assurer la santé. L'amélioration de la qualité de l'eau de boisson permettrait de réduire les risques de maladies infectieuses à transmission hydrique. Les maladies liées à la contamination de l'eau de boisson représentent une charge considérable pour l'humanité. Les interventions visant à améliorer la qualité de l'eau de boisson apportent des bénéfices notables en matière de santé [14].

Les conséquences sanitaires de la consommation d'une eau contaminée dépendent de plusieurs facteurs :

• l'état général du consommateur (défenses immunitaires, âge) ;

• la virulence du microbe ;

• le nombre de germes ingérés (dose infectieuse).

La qualité microbiologique de l'eau était naguère une cause fréquente d'apparition de maladies infectieuses et participait à la propagation d'épidémies (typhoïde, choléra...) que l'on sait aujourd'hui bien maîtriser grâce à la vaccination, à l'amélioration des conditions d'assainissement, de l'hygiène et des techniques de traitement des eaux. Cependant, si les pathologies d'origine hydrique sont plus bénignes de nos jours, le risque microbiologique ne doit pas pour autant être sous - estimé. L'explosion démographique que connaissent les pays en développement et leur économie défectueuse ont généré l'exode rural avec pour conséquence un phénomène d'urbanisation anarchique difficilement contrôlable. Abomey- calavi, une ville semi - urbaine jouxtant la capitale économique Cotonou a connu un accroissement rapide

de la population qui a passé de 126507 en 1992 à 307745 habitants en 2002[15]. Cet accroissement rapide de la population a entrainé une croissance tout aussi rapide de la demande en eau de boisson de bonne qualité. Dans cette commune les eaux usées domestiques sont déversées directement dans la nature sans aucun traitement préalable, suite à l'absence ou au dysfonctionnement des stations d'épuration existantes. Ces eaux sont susceptibles de polluer le sol et le sous-sol, et par la suite, les eaux souterraines, en raison de leurs teneurs souvent élevées en matières organiques biodégradables et en microorganismes d'origine fécale. Le développement accéléré et incontrôlé de cette ville et la multiplication des quartiers dépourvus de tout plan d'urbanisation entraînent une prolifération des systèmes individuels d'assainissement inadéquats. L'infiltration, la persistance, la survie et l'évolution des micro-organismes présents sont liées à tout un ensemble de facteurs comprenant notamment la nature du sol, les conditions environnementales prévalant dans ce sol et dans l'eau souterraine, et la qualité des eaux superficielles infiltrées. Cette commune, qui a une faible couverture en approvisionnement en eau potable, connaît par moment le phénomène d'inondation dont la conséquence est l'infiltration de l'eau de ruissellement qui contamine la nappe phréatique, voire les puits. Cette nappe phréatique, ressource principale en eau, de la commune constitue le principal réservoir à partir duquel la majorité de la population est approvisionnée en eau de consommation. La consommation d'une eau contaminée par les organismes pathogènes intestinaux, qu'ils soient bactériens, viraux ou parasites, proviennent des porteurs humains ou animaux et peut induire l'apparition des maladies d'origine microbienne (fièvres typhoïdes, dysenteries bacillaires, diarrhées et gastro-entérites,

hépatite A et E, dysenteries amibiennes) [16]. La présente étude s'intéresse aux facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson et la santé des populations dans la commune d'Abomey-calavi au Benin.

Dans la présente étude après les généralités , nous allons aborder successivement la méthodologie de recherche , les facteurs associés à la qualité de l'eau de boisson et la cartographie de leur source , l'évaluation du niveau de contamination des eaux de boisson et les risques liés à la santé des population , l'estimation des risques liés à la santé des populations par la consommation d'eau de boisson, la qualité de l'eau de boisson et la prévalence des maladies hydriques puis faire la discussion générale et enfin terminer par les conclusions, suggestions et perspectives.

REFERENCES

1. Cazaban M , Duffour J, Fabbro-Peray , Santé publique, 5e édition, 2005 : 242 p

2. Rapport des nations unies sur le développement mondial de l'eau '' Water for people water for life'' 102 p http//www.lenntech.com/français/feedbackfr.htm [Consulté le 25/04/2008].

3. Mayor F. Water and civilization In: Actes du Premier Forum mondial de l'eau. Elsevier Science, Oxford ; 1997.

4. ISP - Programme de l'organisation syndicale internationale des Services publics pour l'eau, 1993/1. Internationale des Services Publics, Ferney-Voltaire ; 1997.

5. Nations Unies - Rapport du secrétaire général des Nations Unies, Evaluation générale des ressources en eau douce du monde, commission pour le développement durable, 5è session, 5-25 avril, New York ; 1997.

6. Conseil mondial de l'eau. Rapport final du quatrième forum mondial de l'eau. Mexico ; 2006 : 258p.

7. Rapport de la commission sur la gestion de l'eau au Québec. Tome 1, Québec : bureau d'audiences publiques sur l'environnement ; 2000 : 480 p.

8. Bourne L T, Harmse B et Temple N. Water: a neglected nutrient in the young child? A South African perspective. Matern Child Nutr 2007; 3: 303-11.

9. Yapo OB, Mambo V et al. Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire) : Koumassi, Marcory, Port-bouet et Treichville. Int. J. Biol. Chem. Sci 2010 ; 4 : 289-307 .

10. Organisation Mondiale de la Sante (OMS).L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie UNESCO-WWAP ; 2003.

11. République Française, Cour des comptes ,1997. La gestion des services publics locaux d'eau et d'assainissement www.ccomptes.fr/cours des comptes/publications/rapport/eau [Consulté le 14 /05/ 2010]

12. Amegee K F P. Analyse du secteur eau et assainissement au Bénin, Cotonou, Ministère de Santé ; 1992 : 93 p.

13. Organisation Mondiale de la Santé. Célébration de la Décennie Internationale d'action l'Eau Source de Vie : 2005-2015 ; Journée Mondiale de l'eau 2005 ; 22 Mars. Guide de sensibilisation. OMS; 2005.

14. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, vol. 1, 3rd edition, incorporating the 1st and 2nd addenda .Recommendations. Geneva: WHO; 2008.

15. Institut National de la Statistique et de l'Analyse Economique (INSAE). Troisième recensement général de la population et de l'habitation, résultats définitifs: caractéristiques générales de la population. Cotonou: INSAE; 2003.

16. Organisation mondiale de la santé (OMS). Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition, Volume 1 : Recommandations. OMS, 2004-2006

1.2. PROBLEMATIQUE DE L'ETUDE

1.2.1 Enoncé du problème

Au niveau International

Les pathologies d'origine hydrique et la potabilité de l'eau

Les maladies diarrhéiques causent environ 1.8 millions de décès chaque année dans le monde entier, dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement [1]. Elles sont dues principalement à un accès limité au traitement adéquat de l'eau de boisson des ménages et au manque de pratiques appropriées de stockage de l'eau avant sa consommation [1,2]. Une proportion élevée de ces maladies diarrhéiques (88%) est imputable à la mauvaise qualité de l'eau, à un assainissement insuffisant et à une hygiène défectueuse dans le monde [1,3].

Dès l'Antiquité, la notion d'insalubrité de l'eau était déjà acquise. Les romains, s'inquiétant de la nocivité de l'eau du Tibre (fleuve d'Italie, 396 km, il prend sa source en Toscane, traverse Rome et se jette dans la mer Tyrrhénienne), firent construire à la fin du premier siècle, de gigantesques aqueducs (Canal destiné à conduire de l'eau potable d'un lieu à l'autre) délivrant de l'eau de source, plus saine, à raison de 200 litres par habitant et par jour. L'idée d'une transmission des maladies, par l'intermédiaire de l'eau, sera reprise, plus tard, après la conquête des Maures (habitant de l'ancienne Mauritanie, région du nord de l'Afrique), à Cordoue, en Espagne. Curieusement, une vraie conception de l'hygiène hydrique ne sera

développée qu'au siècle dernier, précédée, cependant, par deux événements essentiels.

En 1875, Berthollet, un chimiste français, découvre l'hypochlorite de sodium, qui est produit dans le village de JAVEL, déjà intégré à Paris. Cette eau de Javel est réputée pour son action blanchissante, mais l'on s'aperçoit très vite de ses puissantes propriétés désinfectantes [4]. C'est le chirurgien Perey (1793), qui en fait le premier usage sanitaire pour lutter contre la pourriture de l'hôpital de l'armée du Rhin. Son application au traitement de l'eau (Traube, 1884) ne sera prônée qu'à la fin du XIX ème siècle.

En 1804, le traitement de l'eau est aussi la préoccupation de John Gibb, blanchisseur de Paisley, en Ecosse. A l'aide de filtres à sable lent, il parvient à éliminer la turbidité et les particules solides en suspension. Les avantages d'une eau claire, pour les habitants de Londres, s'avèrent si évidents qu'en 1852 est rédigé le «Métropolis Water Act». Il exige que l'eau provenant de la Tamise livrée dans un rayon de 1609 mètres (5 miles) (=Mesure anglo-saxonne de longueur utilisée en Grande- Bretagne, aux Etats –Unis et au Canada valant 1609 mètres) autour de la cathédrale Saint-Paul, soit filtrée avant d'être consommée par la population.

Dès 1858, il en résulte une décision opportune de procéder à des observations régulières des approvisionnements en eau. Mais ce n'est qu'en 1885, à la suite des découvertes de Pasteur, que seront intoduites les analyses bactériologiques. Pasteur va accomplir une véritable révolution, en substituant aux pratiques empiriques et à la résignation des malades, des remèdes efficaces et des actions préventives. C'est aussi le plus grand hygiéniste de son époque préconisant, notamment, la désinfection des

compresses à l'autoclave avant les interventions chirurgicales, la chloration de l'eau de boisson et de lavage des mains dans les lieux de soins. Ce dernier point mérite une anecdote inscrite dans l'histoire de la Science : « Pasteur arriva chez Claude Bernard, un soir, tout ému de la dureté de ses adversaires de l'Académie de Médecine, précisément à propos de ses travaux sur les microbes :

- Ainsi, malgré toutes les preuves que j'apporte, dit Pasteur découragé, il ne restera rien de moi ?

- Si, Pasteur, reprit Claude Bernard, il restera quelque chose de vous. Ce matin, mon Chirurgien Gosselin est venu sonder ma pauvre vessie. Il était accompagné d'un jeune interne nommé Guyon, qui se réclame de vous et de vos doctrines. Voici ce que j'ai remarqué : Gosselin s'est lavé les mains après m'avoir sondé, Guyon s'est lavé les mains avant. Voilà Pasteur, ce qui restera de vous » [4]. Il restera bien sûr, bien davantage, son œuvre et celle de ses élèves, Albert Calmette entre autres, qui mirent à profit ses conseils. C'est Calmette qui, au cours de la première guerre mondiale, fit procéder à la «verdunisation» (chloration) de l'eau de boisson des militaires pour prévenir l'extension des épidémies de maladies diarrhéiques. Une mesure, dit-on, dont dépendit l'issue d'un conflit, alors sans vainqueur. Cependant, au cours de cette passionnante histoire, jamais ne purent s'éteindre ces maladies liées aux séismes, aux inondations, aux famines, aux guerres, que sont le choléra et la fièvre typhoïde. Malgré la découverte par Berthollet du désinfectant universel, bactéricide, parasiticide, virucide, six pandémies mondiales de choléra vont au XIXème siècle causer la mort de centaines de milliers de personnes en Europe, en Asie et en Amérique latine. L'infection, depuis, ne nous a pas quittés. En 1961, débute la 7ème

pandémie Mondiale, en 1990, 69 631 cas sont déclarés dans le monde, en 1991, le choléra apparait au Pérou (300 000 malades avec près de 3 000 décès) et s'étend, rapidement, sur l'Amérique du sud et centrale. Dans le même temps, on assiste à une recrudescence en Afrique, une flambée épidémique est responsable de plus de 10 000 morts. Le choléra ne s'éteint pas. Il apparait au Bangladesh, en 1993, faisant 107 000 victimes, provoquant 1500 décès.

Il éclate, en 1994, dans les camps de réfugiés rwandais, au Zaïre ; le bilan est lourd : 56 950 cas, soit un taux d'attaque de 8% parmi les 700 000 réfugiés, le taux de mortalité a dépassé 10% au début de l'épidémie. L'ampleur de ces endémo-épidémies fait poser nombre de questions au sujet du choléra :

- sur sa géographie : il s'agit d'une maladie des pays et des régions pauvres du monde,

- sur l'épidémiologie : elle est en relation directe avec le niveau socio-économique, qui détermine, en partie, les préoccupations hygiéniques et les conditions de peuplement. Le facteur « concentration humaine » est le dénominateur commun de toute apparition du choléra : installé, il peut devenir endémique, permanent, sans interruption ;

- ses modes de contamination : l'eau est une source de contamination accessoire dans les pays secs, mais prépondérante dans les lagunes et les deltas : l'homme malade est le principal réservoir de vibrions cholériques (1 ml de liquide d'exonération contient 10^8 germes) qu'il transmet par contact manuel direct,

- ses signes cliniques : le diagnostic médical prête peu à confusion. L'infection détermine des troubles digestifs spectaculaires : diarrhées incoercibles, impérieuses

et vomissements aqueux constants. Le malade peut mourir en 48-72 heures de collapsus, complètement vidé de ses liquides, sur le chemin du dispensaire, où les traitements sont donnés. C'est une maladie qui relève de l'urgence. Les compagnes habituelles d'une épidémie de choléra sont les salmonelloses, dont les célèbres fièvres typhoïde et paratyphoïde.

Toutefois, elles n'ont pas besoin de la collaboration des vibrions cholériques pour tuer. Les toxi-infections responsables d'une fièvre élevée, de troubles digestifs (diarrhée ocre), de phases d'obnubilation et de délire onirique, ont, sous la pression des campagnes d'éducation et d'hygiène, quasiment disparu dans les pays du Nord. Pourtant, à titre d'exemple, Lyon enregistre six épidémies de fièvre typhoïde de 1874 à 1929. La situation n'est guère meilleure aux Etats-Unis. En 1900, la Californie compte un million et demi d'habitants. Il n'existe ni lois fédérales relatives au génie sanitaire, ni directives, ni programmes de surveillance de l'eau. Non traitée, elle va provoquer des épidémies de fièvres typhoïdes responsables d'une forte mortalité (75 pour 100 000 californiens).

Dix ans plus tard, après la mise en place d'un programme cohérent de traitement et de contrôle de l'eau, le taux de mortalité s'effondre et passe à 2,5 pour 100 000 habitants. En 1950, la fièvre typhoïde n'est plus qu'un mauvais souvenir mais elle règne, toujours, en maître dans les pays pauvres du Sud, dans les communautés rurales éloignées des centres de santé, dans les quartiers périurbains sans hygiène et sans eau potable. Les fièvres typho-paratyphiques accompagnent toutes les situations d'exception : guerres, catastrophes, déplacements massifs de population,

flux de migrants sans ressources, sans médicaments, buvant jusqu'à la mort de véritables cocktails microbiens [5].

On y trouve des milliers de bactéries entéropathogènes : vibrions, salmonelles, colibacilles entérotoxiniques, le trop célèbre Campylobacter jejuni, des shigelles de très mauvaise réputation. Agents des shigelloses, rares en Europe, présentes toute l'année en zone tropicale, elles sont responsables de syndrômes dysentériques spectaculaires générant jusqu'à cent selles par jour. Si l'antibiothérapie parvient à vaincre ces infections, d'autres risques d'infections ne sont pas écartés pour autant. Car l'eau est, aussi, un immense réservoir de virus, beaucoup plus difficiles à déceler par des analyses onéreuses et complexes.

Les pathologies virales d'origine hydrique se rencontrent dans les pays du Nord sans trop d'inquiétudes, mais redoutables en Asie, en Afrique et en Amérique du sud. Elles sont responsables d'une morbidité-mortalité élevée. Des panoplies de virus, à l'origine de gastro-entérites aiguës, ont été identifiées, mais les agents pathogènes les plus célèbres sont encore les virus de la poliomyélite et des hépatites A et E [5]. Chacun de nous se souvient d'un oncle, d'un ami, d'un voisin racontant l'histoire de sa «polio» : ingestion d'eau sale ou bain dans une mare à la sortie de la ville, état fébrile, diarrhée banale, mais apparition d'une paralysie d'un membre un matin. La découverte d'un vaccin demeure l'un des grands faits du XXème siècle et l'ambition d'une éradication mondiale de la poliomyélite s'est faite jour.

Il faudra attendre, si l'on considère les résultats médiocres de certaines campagnes de vaccination dans les pays pauvres. On ne peut être plus optimiste en ce qui concerne

les hépatites : point de vaccin contre l'hépatite E, un vaccin récent efficace contre l'hépatite A, mais bien trop onéreux pour les déshérités.

En fait, tout résident dans les pays du Sud est, chaque jour, sous la menace de cette grave infection. Elle provoque des troubles dyspeptiques, une longue asthénie, un ictère bénin, qui peut devenir grave et entraîner la mort. La caractéristique commune de ces pathologies est le mode de transmission : direct, du malade à son entourage, ou indirect, par ingestion d'eau de boisson ou d'aliments -fruits, légumes crus souillés par les déjections des sujets infectés.

Les agents de contamination sont évacués dans les selles, souvent déposées à terre, non loin des sources d'approvisionnement en eau. Aussi, le danger potentiel représenté par ces pollutions est appelé le «péril fécal». En font aussi partie, quelques maladies parasitaires, qui touchent près du quart de l'humanité [4].

Destructrice de tant de colons et de foies dans le sud-est asiatique, il y a quelques années, l'amibiase dont le signe majeur est la dysenterie douloureuse glairosanglante ou l'abcès hépatique n'est plus une préoccupation première. Comme sa compagne habituelle, la giardiase, autre maladie diarrhéique présente dans les communautés sans hygiène, elle ne saurait résister aux récents progrès thérapeutiques. Pas plus, d'ailleurs, que l'ascaridiase, cette infection cosmopolite à vers géants de 20 centimètres, qui s'accumulent, par dizaines, dans les anses digestives jusqu'à l'occlusion intestinale.

Toutefois, l'espoir d'une éradication prochaine et définitive d'une maladie parasitaire ne concerne que la dracunculose, une véritable anomalie pathologique réservée aux zones tropicales. Son agent infectieux, le vers de Guinée (petit dragon ou

dragonneau) à l'état adulte d'une taille de 1 mètre, serpente sans chemin pré-déterminé sous le tissu cutané des cuisses et des jambes. Un bain de pieds, et la femelle fore un pertuis à travers la peau, y applique son utérus et décharge des centaines de larves, aquatiques, qui vont pénétrer dans de petits crustacés d'eau douce : les cyclops. Les cyclops, ingérés avec l'eau de boisson, disparaissent, mais les larves, progressivement, se transforment en adultes, responsables au niveau des membres inférieurs de phlegmons, d'arthrites et d'arthroses imposant des arrêts de travail.

Certains épidémiologistes font de la dracunculose le symbole des maladies à transmission hydrique. Mais leur opinion est très contestée, car le goitre endémique, dû à un déficit de l'eau en iode, ou les intoxications par des substances chimiques (ex: nitrates), des engrais ou des pesticides, sont aussi des méfaits de l'eau de boisson. Aujourd'hui, dans les pays industrialisés, où l'hygiène individuelle et collective est de mieux en mieux respectée, on n'observe plus d'épidémies inquiétantes de maladies infectieuses liées à l'eau de consommation humaine, ce qui n'est le cas dans les pays du Tiers-monde à cause de l'explosion démographique [5].

Problème de quantité

L'eau conditionne tous les aspects de la vie humaine, depuis la santé et l'assainissement jusqu'à la nourriture que nous mangeons, depuis notre environnement et nos écosystèmes jusqu'à l'industrie et à l'énergie qui alimentent le moteur de notre développement.

Pourtant, cette ressource vitale est menacée. Des millénaires durant, la quantité d'eau à notre disposition est demeurée constante, cependant que le nombre de ses utilisateurs augmentait massivement et que ceux-ci se diversifiaient. Les dynamiques mondiales telles que la croissance de la population, l'urbanisation, l'évolution de l'utilisation des sols et le réchauffement climatique font que des pressions concurrentes s'exercent sur cette ressource finie.

En conséquence, la quantité d'eau disponible pour chaque personne, outre qu'elle donne lieu à des inégalités de plus en plus marquées, va diminuant de façon spectaculaire. Les réalités géopolitiques aggravent ces tendances. Les cours d'eau, les lacs et les aquifères ne respectent pas les frontières nationales. À ce jour, on estime à 276 le nombre des masses d'eau superficielles transfrontières et à 273 le nombre des aquifères transfrontières ; en outre, quelque 40 % de la population mondiale vivent au contact de systèmes hydrologiques transfrontières. La compétition pour l'eau est encore plus marquée dans ces zones, ce qui entraîne de graves tensions entre différents groupes d'utilisateurs. D'aucuns agitent même le spectre de futures « guerres de l'eau ».

Les auteurs de l'OR BLEU [6] ne se contentent pas de dénoncer ceux qui préparent la catastrophe, ils nous donnent aussi des armes pour les arrêter. Pour eux, il n'y a qu'une solution possible : se faire les gardiens de ce patrimoine de l'humanité que constitue l'eau douce. Les réserves d'eau douce de surface se polluent et s'épuisent et on exploite mal les activités reliées aux eaux des nappes aquifères. Un quart de la population mondiale dépend des dites nappes pour l'eau potable [7]. L'Amérique est à sec, le Mexique est à bout de ressources et le Moyen Orient est en

crise. Le même scénario se répète dans un grand nombre de pays et de régions du globe. D'après les Nations Unies, 31 pays font face à des pénuries d'eau.

Plus d'un milliard de personnes n'ont pas accès à une eau potable [8]. En 2025, la population mondiale aura augmenté de 2.6 milliards d'individus, mais les deux tiers d'entre eux connaîtront une insuffisance d'eau terrible, et le troisième tiers, une pénurie totale [27,9]. La demande en eau sera alors supérieure de 56% aux réserves. Entendrons-nous la clochette à temps?

Donc, la crise mondiale de l'eau menace l'humanité toute entière, et ce, à deux niveaux : la rareté de l'eau et sa pollution. Dans plusieurs cas, ce sont les compressions budgétaires gouvernementales qui nuisent à la qualité de l'eau potable.

Les ménages pauvres portent une grande part du fardeau que constituent les risques environnementaux pour la santé en raison de leur vulnérabilité particulière résultant de l'accès inadéquat aux équipements et services environnementaux de santé [4,10], alors que les normes sur la qualité de l'eau de boisson ne permettent pas de détecter de germes nuisibles au point d'utilisation de l'eau de boisson [5]. Cependant, la qualité microbiologique de l'eau de boisson peut se détériorer au cours du puisage, du transport et du stockage domestique [6]. Ainsi, l'accès à une source d'eau sûre seul n'assure pas la qualité d'eau qui est consommée.

En outre, une meilleure source d'eau ne garantit pas aux populations une meilleure santé lorsque les moyens performants et améliorés de stockage de l'eau de boisson et ceux en matière d'assainissement sont inexistants [7]. La qualité de l'eau de boisson au point d'utilisation est un indicateur critique de santé publique [1,14] car elle dépend des modèles d'utilisation de l'eau et des caractéristiques

environnementales, sociales, économiques et culturelles d'une région donnée. L'objectif de la décennie internationale de l'eau, qui a visé à réduire de moitié le nombre de personnes n'ayant pas accès à une eau de boisson sûre et salubre entre 2005 et 2015 [15], s'avère donc nécessaire. La qualité de l'eau de boisson affecte directement le bien-être des individus avec des effets cumulatifs à chaque niveau social [16].

Les conséquences potentielles pour la santé de la contamination microbienne de l'eau de boisson sont telles qu'il est crucial de garder en permanence la maîtrise de celle-ci et de ne jamais la laisser sortir des limites recommandées [11]. Ainsi, pour concevoir des interventions les plus appropriées, pour améliorer la qualité de l'eau et de l'approvisionnement, les informations sont alors nécessaires pour évaluer les éléments de contamination de l'eau de boisson. La qualité de l'eau de boisson dans les ménages dépend du niveau d'hygiène et d'assainissement de ceux-ci [1]. De même, les types de toilettes utilisés et le mode de gestion des déchets sont aussi liés aux caractéristiques socio-économiques des ménages, ce qui affecte directement la qualité de l'eau consommée [17].

Problème de qualité et d'approvisionnement en eau

L'eau est indispensable pour la vie des hommes, des animaux et des plantes. Sa qualité est un problème de santé universel. L'eau est essentielle pour la vie, mais elle peut transmettre et transmet des maladies dans les pays de tous les continents des plus pauvres aux plus riches. Pouvoir s'approvisionner en eau potable est un besoin

élémentaire et, partant, un droit fondamental. « Kofi Annan, Secrétaire général de l'Organisation des Nations Unies »

Garantir aux pauvres une eau de bonne qualité est une mesure efficace de protection de la santé. Il a été signalé que le nombre de cas de maladies diarrhéiques chez les enfants a diminué d'environ un tiers dans le cadre de projets mis en place pour aider les ménages pauvres à traiter l'eau chez eux et à se protéger contre la recontamination. Même si des millions de personnes disposent quotidiennement d'eau de boisson salubre, notamment dans les pays industrialisés, des améliorations s'imposent avant d'éviter des incidents tels que la poussée de cryptosporidiose à Milwaukee (États- Unis d'Amérique) qui a touché 400000 personnes et la poussée d'infection à E. coli O157 et à Campylobacter à Walkerton (Canada) qui a infecté plus de 2000 personnes et en a tué sept [18]. En outre, la présence de polluants chimiques dans l'eau de boisson continue à faire la une de l'actualité:

- La présence d'arsenic constitue toujours un problème majeur de santé publique au Bangladesh et survient de plus en plus dans des pays aussi différents que les États-Unis et le Viet Nam [19]**;**

- La présence, à laquelle peu d'attention a été prêtée, de fluorures naturels dans les eaux souterraines de certains des pays les moins avancés atteint gravement des dizaines de millions de personnes et entraîne des effets invalidants ;

- La présence de cyanobactéries toxiques dans l'eau [20] a fait les gros titres de l'actualité en Californie (États-Unis) et inquiète de plus en plus ailleurs ;

- La présence de nitrate dans l'eau, engendre la méthémoglobinémie du nourrisson [21] et des risques de décès par cancer du rectum [22] ;

- Les secouristes intervenant dans des situations de catastrophes, essayant de rétablir l'approvisionnement en eau de boisson salubre, éprouvent parfois des difficultés en raison des directives peu claires dont ils disposent sur la sécurité des désinfectants utilisés dans les situations d'urgence.

Depuis quelques années, plusieurs épidémies ont été causées par des bactéries, des virus et des protozoaires présents dans l'eau potable distribuée par certaines grandes villes industrialisées, dont entre autres, Milwaukee, Londres et Sydney en 1993. Dans la plupart des cas, pourtant, l'eau potable respectait les normes locales en vigueur. Les municipalités du Québec, quoiqu'elles fournissent en général à leurs citoyens une eau potable de bonne qualité, pourraient éventuellement être confrontées à un problème similaire [23].

Le gouvernement et les principaux intervenants impliqués dans la production d'eau potable ont donc la responsabilité de prendre les moyens nécessaires, selon l'état des connaissances scientifiques actuelles, pour que l'eau distribuée soit sécuritaire. La fréquence des épidémies d'origine hydrique montre la vulnérabilité de la population face à la qualité de l'eau potable.

Certains micro-organismes, tels les parasites, sont très résistants aux désinfectants traditionnels et ont été mis en cause dans plusieurs épidémies au cours des dernières années, même lorsque les normes de qualité de l'eau potable étaient respectées. Par exemple, à Milwaukee en 1993, une épidémie de cryptosporidiose a touché plus de 400 000 personnes [24 ,25 ,26].

Comme les micro-organismes pathogènes retrouvés dans l'eau potable causent surtout des problèmes de santé touchant le système gastro-intestinal, l'eau contaminée est un vecteur majeur de transmission de ces différentes affections. Les indicateurs classiques de la qualité microbiologique de l'eau potable montrent des lacunes [27].

À l'heure actuelle, il n'existe pas d'indicateurs de contamination parasitaire [28, 29 ,30]. Cependant, les parasites *Cryptosporidium* et *Giardia* sont fréquemment présents dans les eaux de surface sous une forme enkystée résistant même à la congélation et ils ont une grande résistance à la désinfection au chlore [31,30, 27]. De plus, comme il existe un délai relativement long entre la prise d'un échantillon d'eau et l'analyse du décompte microbien (ce délai peut varier de 24 à 72 heures selon l'indicateur) [32], l'eau contaminée sera fréquemment consommée par la population pendant l'attente des résultats.

La turbidité, quant à elle, est un indicateur qui semble être corrélé avec le passage de micro-organismes d'origine hydrique à travers le système de filtration. La surveillance habituelle en santé publique semble être insuffisante pour permettre la détection rapide des épidémies [33].

La contamination de l'eau par le fumier animal se produit soit par contact direct, soit par écoulement depuis une structure d'entreposage ou de manutention défectueuse. L'eau contaminée par le fumier risque de propager des parasites internes et des maladies comme la leptospirose et la salmonellose.

Les indicateurs de la contamination bactérienne de l'eau sont : les coliformes totaux et les coliformes fécaux [34]. Les coliformes totaux sont les bactéries qui se trouvent

dans la végétation, les déjections animales, les égouts et le sol. Les coliformes fécaux proviennent des intestins des animaux à sang chaud, ils ne survivent pas longtemps à l'extérieur du corps.

La présence de coliformes fécaux dans l'eau indique un problème à la fois récent et peu éloigné [35]. Les sources habituelles de *Escherichia coli* sont les excréments humains et des animaux à sang chaud. La bactérie E. Coli est reconnue comme le meilleur indicateur bactérien de contamination d'origine fécale en raison de sa spécificité.

Sa présence dans une eau destinée à la consommation indique que cette eau a été en contact avec les matières fécales humaines ou animales [36]. Les bactéries entérocoques sont aussi des indicateurs de contamination par des sources fécales humaines ou animales.

Elles persistent plus longtemps dans l'environnement que *E. coli*, ce qui permet de mettre en évidence une contamination plus ancienne. Toutefois, les entérocoques décelés dans l'environnement ne sont pas toujours d'origine fécale, ce qui le rend moins spécifique qu'*E. coli* pour mettre en évidence une contamination d'origine fécale [37].

Leur présence révèle davantage une vulnérabilité de l'eau souterraine aux microorganismes de l'environnement qu'un risque à la santé [37]. On parle de maladies infectieuses d'origine hydrique quand l'eau sert de véhicule de transmission à l'agent infectieux.

Ce dernier est représenté par toute une série d'organismes pathogènes tels que les bactéries, les virus, les champignons et les parasites. La transmission peut avoir lieu à

travers l'eau potable, mais aussi par les différents contacts que l'on peut avoir avec l'environnement hydrique [38].

Les métaux lourds contenus dans notre environnement (eau, air, sols) peuvent, par des cycles parfois complexes, se retrouver dans une étape végétale de notre chaîne alimentaire et entraîner une contamination de l'homme par voie orale. Toutefois, un simple passage passif dans notre chaîne alimentaire aurait un impact limité, sans l'existence d'un phénomène très particulier pour les métaux lourds qui est la bioaccumulation. C'est donc ce phénomène de bioaccumulation que nous allons décrire brièvement.

La bioaccumulation est un phénomène, existant pour les métaux lourds mais également mis en évidence pour d'autres composés chimiques, qui a pour conséquence une concentration en polluant dans un organisme vivant supérieure à la concentration de ce polluant dans le biotope de l'organisme. Au-delà de cette définition, qui sert à comprendre l'utilité des bio-indicateurs (organismes vivants dont la contamination est révélatrice de la pollution du biotope), dans le cas des métaux lourds, c'est la bioaccumulation qui se transmet tout au long de la chaîne alimentaire qui explique que l'homme puisse être exposé à des quantités dangereuses de métaux lourds par son alimentation.

Cette bioaccumulation est le fait des êtres vivants qui peuvent être végétaux ou animaux. Pour tous les métaux lourds, il est possible de trouver une plante ou un animal appartenant à la chaîne alimentaire de l'homme qui sert d'accumulateur vivant de métaux lourds.

A l'inverse, il existe très peu d'espèces capables de détoxifier ou d'éliminer efficacement ces métaux lourds de la chaîne alimentaire. Par conséquent, lorsqu'un bioaccumulateur de métaux lourds apparaît dans la chaîne alimentaire, ses effets sur la teneur finale des aliments se poursuivent jusqu'à l'homme (lorsqu'il n'y a pas intervention de plusieurs bioaccumulateurs, ce qui est souvent le cas).

Si on ajoute à cela que l'homme lui-même ne possède pas de métabolisme efficace des métaux lourds susceptible de les éliminer, on comprend comment peut survenir la toxicité chez l'homme (qui devient lui-même un bioaccumulateur). Dans la chaîne alimentaire de l'homme, les aliments ne sont pas les seuls à être contaminés par des métaux lourds, les boissons peuvent l'être également.

Les eaux de boisson que nous utilisons quotidiennement participent donc à notre contamination chronique en métaux lourds, même si leur participation reste faible. Pour l'homme, la problématique des métaux lourds est majeure car elle affecte toutes les caractéristiques de la vie. En effet, la cellule est l'unité biologique fondamentale la plus petite, or les métaux lourds peuvent entraîner sa dégénérescence. Certains d'entre eux sont cancérigènes, il peut donc y avoir atteinte de l'entité élémentaire de la vie.

Les métaux lourds peuvent entraîner chez l'homme des pathologies touchant à son intégrité physique et mentale. Il n'est alors plus capable de réagir et de s'adapter aux diverses situations. Certains métaux ont des effets tératogènes et d'autres peuvent entraîner des troubles de la fécondité.

Comme nous le voyons donc, chaque fonction fondamentale et vitale de l'homme est mise en danger par la présence des métaux lourds dans son environnement. Le

problème de la disponibilité de l'eau de bonne qualité, et à fortiori de l'eau potable, est un problème de santé publique, et par delà une condition indispensable au développement économique. Le coût de la pollution de l'eau se manifeste aussi par les dommages causés aux poissons, principales sources de protéines dans de nombreux pays et gagne pain d'un grand nombre de ruraux [39].

L'Organisation mondiale de la Santé (OMS) a été créée en 1948 dans le but «d'amener tous les peuples au niveau de santé le plus élevé possible».

L'OMS exerce une grande diversité de fonctions, visant notamment à favoriser l'amélioration de la nutrition, du logement, de l'assainissement, des loisirs, des conditions économiques et de travail liées à la santé, ainsi que tous autres facteurs de l'hygiène du milieu. Un des principaux rôles de l'OMS consiste à établir des normes internationales afin de protéger la santé de l'être humain. L'eau constitue une ressource stratégique dont l'importance est de plus en plus mise en exergue par la communauté internationale dans ses fonctions d'eau de boisson, eau source d'énergie et élément de production industrielle. L'eau dans sa fonction eau de boisson est également le vecteur d'un certain nombre de maladies qui constituent un véritable problème de santé [40]. Pour permettre à une population de disposer de l'eau de boisson en quantité suffisante et en qualité, deux conditions sont nécessaires :

- la source d'approvisionnement doit être pérenne ;
- l'environnement doit être maintenu en état de salubrité permanent grâce à un système adéquat d'assainissement du milieu.

L'eau doit être considérée comme un élément de premier plan en santé publique, car elle est un vecteur potentiel important de transmission de maladies.

Problème du sol

En milieu agricole, les pesticides et les engrais appliqués sur les cultures peuvent atteindre les eaux superficielles .La contamination des nappes phréatiques par les nitrates est une pollution ponctuelle et diffuse. Cette pollution présente trois caractéristiques principales :

- le taux d'infiltration est faible suivant le type de sol que le polluant doit traverser : processus lent ;
- l'aquifère reste polluée à cause de la lenteur de l'écoulement des eaux souterraines, la durée de renouvellement peut être de quelques décennies : processus stable ;
- la lente migration de la pollution : phénomène local.

Les métaux sont omniprésents dans l'environnement. Leur concentration varie selon la géologie et les facteurs environnementaux. Ils pénètrent dans l'environnement sous l'action de phénomènes naturels (météorisation des roches, éruptions volcaniques, embruns) et à partir de dépôts atmosphériques et de sources anthropiques comme la métallurgie, l'utilisation de catalyseurs, de pigments pour les peintures, des batteries, des composants électroniques, des engrais, des plastiques et additifs pour carburant.

Les eaux souterraines sont contaminées par des métaux provenant principalement de sources ponctuelles : zones urbaines, zones industrielles ainsi que les centres

d'enfouissement techniques et les lieux de gestion des déchets industriels. Il s'agit du cuivre, du plomb, du chrome, du zinc, du nickel, du fer et de l'aluminium.

Tous ces métaux se retrouvent dissous dans l'eau [41]. Une quantité importante de métaux lourds est introduite dans l'environnement par l'intermédiaire de sources naturelles et humaines.

Cette contamination a plusieurs origines telles que la combustion de fossiles, les gaz d'échappement des véhicules, l'incinération, l'activité minière, l'agriculture et les déchets liquides et solides. Mais elle peut également être d'origine naturelle via les volcans, l'activité des sources thermales, l'érosion, l'infiltration, etc. Le cadmium, l'arsenic, le mercure et le plomb sont introduits dans l'environnement, de façon quasi exclusive par l'homme.

Il est assez difficile de prévoir l'évolution des métaux dans l'environnement, car ils peuvent subir un grand nombre de transformations (oxydation, réduction, complexation, etc.), et car cette évolution dépend fortement du milieu. En effet, la migration des métaux lourds vers la nappe phréatique est fonction de nombreux paramètres:

- la forme chimique initiale du métal ;
- la perméabilité du sol et du sous-sol ;
- la porosité du sol ;
- le pH: dans un milieu acide, les métaux risquent de se solubiliser, alors que dans un milieu alcalin, ils peuvent former des hydroxydes métalliques ;
- l'activité biologique: certains micro-organismes ont la capacité d'ingérer des métaux, alors que d'autres les solubilisent par acidogénèse ;

- le potentiel redox du sol ;

-la composition minéralogique du sol: il peut y avoir formation de composés ;

- la teneur en matières organiques du sol:(complexation des métaux par les substances humiques).

Les principales sources de contamination de l'eau sont les suivantes: les eaux usées domestiques et industrielles, la production agricole, les polluants atmosphériques, les anciennes décharges, l'utilisation de substances dangereuses pour l'eau, la navigation, etc.

Influence de l'argent et la privatisation

Au Canada, la province de l'Ontario a procédé à des coupes financières dans le budget du Ministère de l'Environnement. En effet, les infrastructures destinées à l'épuration de l'eau douce en ont souffert et des experts en analyse de l'eau ont été licenciés. En1999, une étude du gouvernement fédéral a révélé qu'un tiers des puits ruraux de l'Ontario étaient contaminés par la bactérie E. Coli [42]. En juin 2000, au moins sept personnes dont un bébé, ont perdu la vie parce qu'elles avaient bu de l'eau distribuée par la municipalité de Walkerton.

Même les USA sont touchés. Selon le National Resources Defense Council, entre 1995 et 1998, quelques 53 millions d'Américains, soit un cinquième de la population, boivent au robinet une eau contaminée par du plomb, des bactéries indice de pollution ou d'autres agents polluants dangereux [8]. Selon l'Agence de Protection de l'Environnement des USA, l'incidence des maladies causées par la pollution des eaux souterraines a augmenté de 30% entre 1995 et 1998.

En mars 2000, il y a eu à la Haye en France, un Forum mondial de l'eau avec 5700 personnes présentes. Les discussions portaient sur les moyens auxquels les compagnies auraient recours pour rentabiliser davantage la vente d'eau sur tous les marchés de la planète. Mais les 140 représentants des gouvernements sont restés à l'arrière-plan. Ce furent surtout les grandes entreprises qui prirent la parole. Ces organisateurs voulaient que l'eau soit désignée comme un besoin et non comme un droit humain universel [43]. Ce fut le besoin qui l'emporta. Ainsi, l'eau a été séparée de la terre et des Biens communs dont elle fait partie.

La privatisation d'institutions et de sociétés publiques est le premier outil de la marchandisation de l'eau. Il existe trois modèles de privatisation. Le premier est la vente pure et simple, à l'entreprise privée, des réseaux publics d'alimentation en eau et d'assainissements des eaux usées (exemple : Le Royaume Uni). Le second modèle, la France par exemple, où le gouvernement a accordé aux entreprises des concessions leur permettant d'avoir la main mise sur la gestion des services d'eau, de recueillir tous les revenus provenant des services et de garder les surplus en guise de bénéfices. Le troisième, le cas où le gouvernement passe un contrat avec une entreprise chargée de gérer les services d'eau et la rémunère à cette fin, mais l'entreprise ne recueille pas les revenus ni les bénéfices. Depuis ce temps, les usagers en France ont vu leur facture de services d'eau augmenter de 150% et ceux de l'Angleterre de 106%.

La privatisation diminue le contrôle du public sur les ressources. Plus il sera rentable d'acheter et de vendre de l'eau sur les marchés mondiaux, plus elle sera la cible des spéculations sur les marchés financiers [44].

Surveillance et comportement

Un système de surveillance épidémiologique des maladies entériques possiblement d'origine hydrique permettrait d'investiguer rapidement les éclosions et d'adopter des mesures préventives.

Au Québec, les systèmes présentement en place tels que le système des maladies à déclaration obligatoire (MADO) et le système d'enregistrement des hospitalisations (MEDECHO) sont peu sensibles pour la détection d'épidémies de gastro-entérites. En effet, des problèmes de sous-déclaration, de non-diagnostic, de non-disponibilité de même que la notification des cas les plus graves seulement sont autant de problèmes liés aux systèmes existants.

Par ailleurs, au cours des années 1980, le Québec s'est doté d'un service téléphonique infirmier assurant à la population l'accès à des informations et des conseils concernant leur santé [45]. Connu sous le nom d'Info-Santé CLSC, ce service est accessible 24 heures par jour et 7 jours par semaine. Ainsi, il semble plus approprié de combiner la surveillance de la qualité de l'eau et la surveillance épidémiologique.

Malgré que 71% de la surface du globe soit constitué du précieux liquide, la pénurie en eau potable se fait sentir partout.

On considère qu'aujourd'hui, 2,8 milliards de personnes vivent dans des endroits affectés par le stress hydrique et dans des régions qui pourraient connaître des tensions du fait de l'accès à l'eau potable [46]. En 2030, ce chiffre pourrait atteindre 3,9 milliards.

Les conditions insalubres d'alimentation en eau de boisson, d'assainissement et d'hygiène sont responsables de près de 4 % des décès dans le monde et d'environ 6 % d'Année de Vie Corrigée du facteur d'Invalidité (DALY) [47].

C'est dans ce contexte sombre de pénurie d'eau sur la planète que s'est tenu du 16 au 22 mars 2009 à Istanbul, en Turquie, le 5ème Forum mondial de l'eau, dans lequel l'Union européenne siège avec un mandat précis: "Considérer l'accès à l'eau potable comme un droit vital, fondamental de l'être humain et non uniquement comme un bien économique soumis aux seules règles du marché".

Malgré la crise financière, les Etats membres de l'Union européenne sont conviés à augmenter leurs efforts en matière d'aide au développement afin d'appuyer les pays tiers à atteindre les Objectifs du millénaire (OMD 7) en matière d'approvisionnement en eau potable d'ici à 2015.

L'objectif visé est de à réduire moitié, d'ici à 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas accès à un approvisionnement en eau potable ni à des services d'assainissement de base. Ils sont également sollicités à renforcer les moyens du "Fonds européen pour l'eau" en faveur des pays d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique (ACP) dans le cadre du 10ème Fonds européen de développement".

Il convient de relever le défi d'une intégration de la question de l'eau dans toutes les politiques et d'établir une approche véritablement intégrée pour l'aborder. Tous les niveaux politiques (national, régional et local) devraient être associés au processus [46].

Le développement d'une culture d'économies et d'utilisation rationnelle de l'eau responsable exige une politique active de prise de conscience associant tous les

acteurs du secteur concerné. L'information, l'éducation et la formation sont des domaines d'action prioritaires. Il existe de nombreuses possibilités permettant de relever le défi. [48].

Episode exceptionnel

Apres le Tsunami en Asie en 2004 les gens font face à la menace de maladies hydriques liées aux inondations telles que la shigellose, le choléra, l'hépatite A, la leptospirose et la fièvre typhoïde [49]. L'épidémiologie de ces maladies est très différente entre les pays développés et les pays du tiers Monde. Dans les premiers, l'eau est en quantité suffisante et de bonne qualité, de plus, l'état de santé de la population est satisfaisant [50]. A l'inverse, dans les seconds, l'eau est en quantité insuffisante et de mauvaise qualité.

En outre, comme la santé de la population est précaire, la prédisposition à ce type de maladie est très forte. Les différents risques sanitaires des polluants chimiques tels que les métaux lourds agissent chacun à leur propre compte, mais aussi réagissent les uns avec les autres et la nuisance totale n'est pas la somme des toxicités de chacun d'entre eux mais lui est probablement supérieur [51].

Certains polluants peuvent développer une toxicité aiguë ou chronique ; d'autres peuvent avoir des effets mutagènes ou cancérigènes. Pour ce qui concerne le plomb, un exemple de synergie : l'ankylostomiase, véhiculé par le milieu hydrique est la première cause d'anémie. L'anémie provoque une augmentation de l'absorption digestive du plomb et du cadmium. Une exposition accrue au plomb

accentue les problèmes d'anémie et un cercle vicieux peut s'installer. De plus le cadmium et le plomb se conjuguent dans leur toxicité rénale [52].

On comprend que de tels mécanismes synergiques appliqués à des populations fragiles telles les enfants peuvent être destructeurs [53]. Sans l'ombre d'un doute, la menace d'une pénurie mondiale d'eau plane sur nous, et elle risque de donner naissance à la crise écologique, économique et politique la plus grave du prochain siècle.

Au niveau Régional

Dans les pays en développement 1,1 milliard de personnes sont dépourvues d'accès à des systèmes améliorés d'approvisionnement en eau de boisson, un nombre encore plus grand consomme une eau largement contaminée selon les statistiques de l'OMS. Quatre milliards d'épisodes diarrhéiques se produisent chaque année dont 88% sont imputables à une eau insalubre et à de mauvaises conditions d'hygiène et d'assainissement [54,55]. L'absence d'eau salubre perpétue un cycle dans lequel les populations pauvres sont toujours plus défavorisées et la pauvreté s'enracine.

En Afrique, dans les années 1980 et 1990, les remboursements de plus en plus élevés de la dette extérieure ont forcé de nombreux pays à réduire les services d'assainissement et d'approvisionnement en eau qu'ils offraient à leurs concitoyens [56]. Il ne s'agit là que de quelques uns des pays du Tiers Monde qui consacrent encore aujourd'hui 70% de leur budget national au remboursement de leur dette au FMI et à la Banque Mondiale. La récente épidémie de choléra qui a éclaté en Afrique du Sud résulte directement de la décision du gouvernement de couper l'eau aux familles qui ne pouvaient pas payer leur facture [57].

La distribution d'eau, un bien commun de l'humanité, est très inégalitaire alors qu'elle devrait constituer un droit fondamental et universel. Selon les prévisions, ce tableau devrait à l'avenir encore se noircir : le changement climatique devrait en effet accroître la désertification, notamment en Afrique, et les « migrations de l'eau » vont se développer, les hommes se déplaçant vers des lieux où l'eau est accessible.

Les populations pauvres sont les plus vulnérables au changement climatique et aussi les moins aptes à s'y adapter. Bien que contribuant très peu au réchauffement de la planète, les pays africains subissent déjà les pires conséquences du changement climatique, ainsi qu'en témoignent l'imprévisibilité des précipitations, la baisse des rendements agricoles et la raréfaction des ressources. À cela s'ajoutent la pauvreté généralisée, l'accès limité aux capitaux et aux technologies, la dégradation des écosystèmes, les catastrophes naturelles et les conflits, qui accentuent encore leur vulnérabilité.

Dans la plupart des grandes villes des pays en développement, le problème d'approvisionnement en eau potable se pose avec acuité : la qualité de l'eau produite est douteuse, la distribution se fait de manière inégale (certains secteurs moins peuplés sont alimentés à plus de 300 l/hbt/J alors que d'autres plus peuplés sont à moins de 40 l/hbt/j), les réseaux de distribution sont obsolètes et ne parviennent pas à couvrir les villes, les maladies hydriques sont fréquentes et restent la première cause de mortalité et de morbidité dans ces villes[58].

Le développement urbain influe sur les ressources en eau. Il modifie le cycle hydrologique et accroît la demande de services reliés à l'eau dans les zones touchées. Parmi les modifications que connaît le cycle hydrologique, mentionnons une

altération des flux d'eau, de sédiments, de produits chimiques et de micro-organismes ainsi qu'une augmentation de rejets thermiques [59].

En général ces modifications provoquent la diminution des régimes d'écoulement et de sédimentation, les changements géomorphologiques, la diminution de la qualité de l'eau, la réduction de la biodiversité et une dégradation généralisée des ressources en eau [60]. Aujourd'hui, beaucoup d'actions soutenues par les organismes internationaux tels que (OMS, PNUD, UNFPA) ont été entreprises en vue de l'acquisition par les populations d'un changement de comportement favorable à la garantie de la potabilité de l'eau à la consommation [61].

Cette situation est principalement due à l'association forte et cohérente entre la consommation d'eau insalubre et la mortalité infanto-juvénile résultant des maladies diarrhéiques dans les pays en voie de développement [62]. L'accès à une eau de boisson salubre et à des moyens hygiéniques de gestion des excréta est non seulement un besoin universel, mais aussi un droit fondamental de l'homme.

C'est un élément essentiel du développement humain et une composante indispensable des Soins de Santé Primaire [11].

En Afrique subsaharienne, 42% de la population n'a toujours pas accès à de l'eau de bonne qualité et la couverture par les services d'assainissement est d'à peine 36%. Ainsi, les pathologies les plus récurrentes (paludisme, choléra, maladies du péril fécal…) constituent un facteur de morbidité et de mortalité pour des tranches de population les plus vulnérables, à savoir les femmes et les enfants [3].

En 2008, l'OMS avait estimé la mortalité attribuable à l'eau et aux eaux usées à 19, 9% au Burkina Faso, 19% au Benin, 20,4% au Congo, 20,9% au Mali et 23% au Niger [63].

Au Bénin, un peu plus de la moitié des ménages (66%) s'approvisionne à une source d'eau protégée, cette proportion est beaucoup plus élevée en milieu urbain (80 %) qu'en milieu rural (57 %) [64]. Malgré les multiples efforts déployés par les autorités pour améliorer l'accès à l'approvisionnement en eau de boisson salubre, les maladies hydriques telles que la diarrhée reste encore l'un des problèmes prioritaires de santé qui affecte surtout les enfants de moins de 5 ans.

Dans les pays en développement, quatre cinquième de toutes les maladies sont causées par les maladies hydriques, où la diarrhée est la principale cause de la mort des enfants [65,66]. La diarrhée se produit partout dans le monde et cause 4% du taux de mortalité et 5% d'incapacité [65].

L'eau notre principale denrée alimentaire est essentielle pour la vie, cependant elle peut être aussi une source de maladie.

Dans les pays en développement, jusqu'à 80% des maladies et plus du tiers des décès sont imputables à l'utilisation d'une eau contaminée [67,68]. L'eau devient l'enjeu d'une lutte continuelle pour la survie. L'assurance de la qualité et de l'hygiène de l'eau sont des exigences prioritaires de santé publique. La consommation d'une eau potable, facteur déterminant dans la prévention des maladies liées à l'eau, doit bénéficier d'une attention particulière [69,70].

Au niveau sous-Régional et Local

Dans la population Béninoise et selon les statistiques du ministère de la Santé, les maladies d'origine hydrique représentent 54 % de l'ensemble des maladies [69].

Au Bénin la consommation spécifique actuelle, inférieure à 40 l/hbt/j atteindra difficilement 80 l/hbt/j en 2025[71]. L'importance de l'eau et son impact sur la santé des populations justifient donc la présente étude. Le potentiel hydraulique actuel, la consommation spécifique et l'exploitation (captage, traitement, distribution, politique tarifaire et développement du réseau) sont autant de paramètres dont l'étude permettra de faire des projections sur les besoins en eau de bonne qualité à l'horizon 2025[72]. Les principales sources d'approvisionnement en eau de boisson au Bénin sont : les eaux de surface, les eaux souterraines, les eaux de pluie et les eaux de puits à faible diamètre [73,74]. L'eau livrée à la consommation de la population périurbaine et urbaine par la Société Nationale des Eaux du Bénin (SONEB) est contrôlée par le laboratoire central de la SONEB mais sa couverture reste limitée aux grandes villes. La commune d'Abomey calavi d'une population de 187.199 habitants compte 9 arrondissements. Elle a un faible taux de couverture en approvisionnement en eau potable [75]. Dans cette commune, la majorité des ménages utilisent l'eau provenant des puits.

Cette commune comme toutes les autres villes des Etats de l'Afrique tropicale, équipée en installations produisant de l'eau potable. Mais elle ne dessert qu'une partie des quartiers. C'est ainsi qu'une part importante de cette population utilise l'eau des puits dont la qualité est préoccupante. Ces puits sont réalisés de façon traditionnelle, de diamètre variable maçonnés avec margelle, couverts ou non. La nature hydrogéologique de la commune d'Abomey Calavi présente une perméabilité élevée du sol ce qui favorise une pollution assez rapide de la nappe phréatique avec un faible pouvoir de filtration.

La faible couverture en eau potable et les comportements à risques des populations sont à l'origine des maladies graves telles que les diarrhées, la fièvre typhoïde et paratyphoïde, la dysenterie amibienne [76,77]. L'existence des microorganismes et de substances chimiques dans les eaux de puits peut avoir plusieurs origines.

Si certaines souches sont présentes à l'état naturel, d'autres proviennent en revanche de l'infiltration dans le sol de matières organiques provenant de fosses septiques, de décharges, d'épandages agricoles ou des réseaux d'assainissement [78,79]. En ce qui concerne les microorganismes, leur développement est toutefois limité par les conditions anaérobies généralement rencontrées en milieu souterrain. La vulnérabilité des aquifères par rapport aux pollutions microbiologiques est plus forte car leur capacité épuratrice est souvent faible voire nulle [80].

Quelle est la situation de l'eau de boisson dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin ?

Pour répondre à cette question, nous avons abordé la présente étude intitulée « Facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson et la santé des populations dans la commune d'Abomey- Calavi au Bénin ».

Pour mieux expliciter notre problématique nous avons conçu le cadre conceptuel ci-après.

1.2.2 Cadre conceptuel

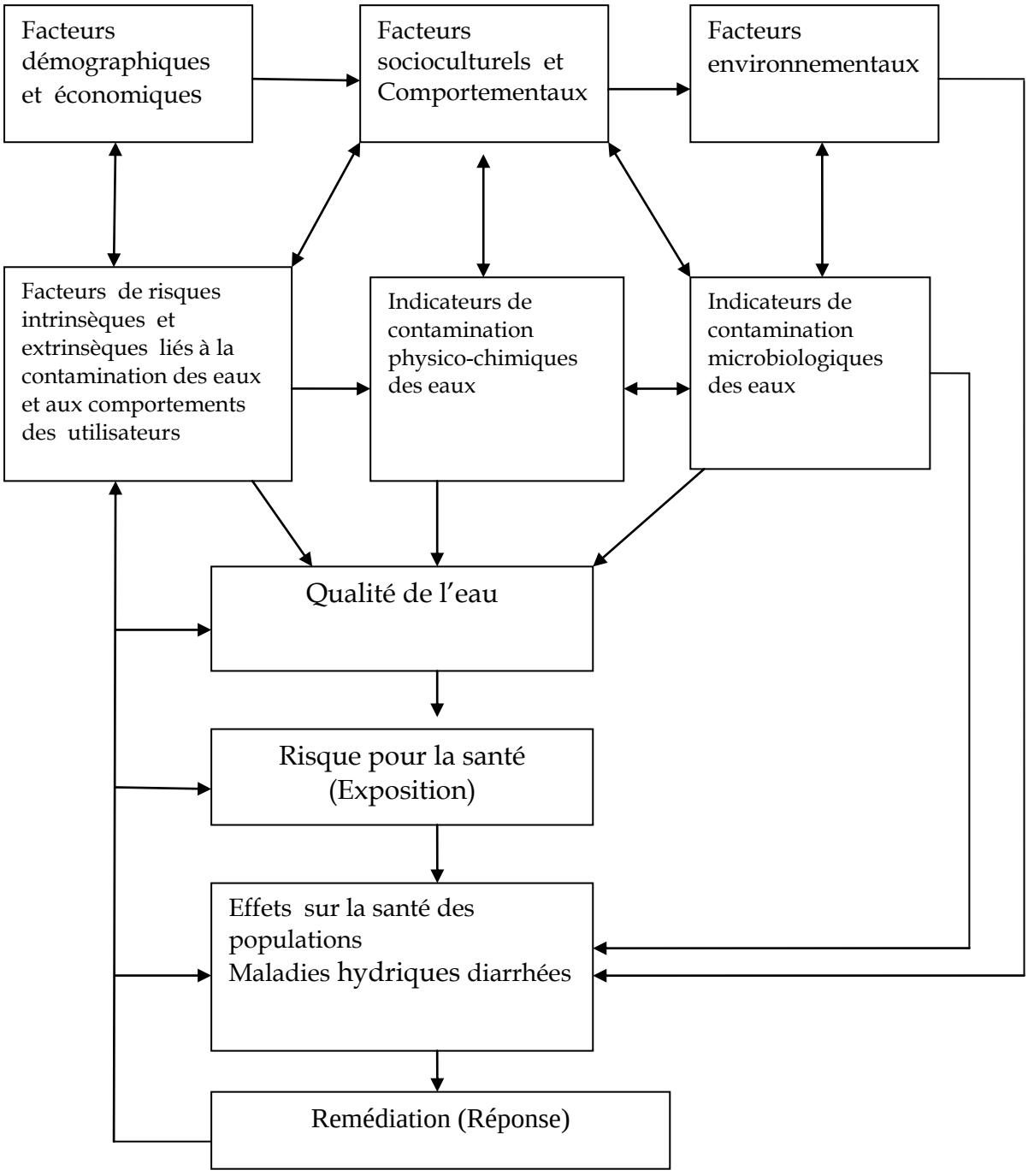

Figure 1: Cadre conceptuel des facteurs associés à la qualité de l'eau de boisson

La qualité de l'eau de boisson est influencée sur les facteurs bactériologiques, physiques, chimiques et les facteurs exogènes (dépotoirs sauvages de déchets solides et liquides), mais aussi par la gestion de l'eau (collecte – transport – stockage - prélèvement) qui peut être aussi source de pollution bactériologique, chimique et physique de l'eau de boisson.

Les facteurs exogènes peuvent être sources de pollution bactériologique et chimique de l'eau de boisson.

La variable dépendante de notre étude est la qualité de l'eau de boisson dans les ménages et ses effets sur la santé des populations.

Les variables indépendantes représentent les variables contribuant à la détermination de la qualité de l'eau et les facteurs de la santé. Ce sont :

- Les paramètres physico-chimiques liés à la composition naturelle des eaux : la température, le pH, la conductivité, l'oxygène dissous, le TSD, la salinité, les chlorures, les sulfates et l'aluminium ;

- Les paramètres des substances indésirables : les nitrates, les nitrites, l'ammonium, l'oxydabilité au KMnO4, le fer, le cuivre, le zinc, le phosphore, le fluore, le chlore, la dureté totale, le calcium, le magnésium, la DBO_5 et la DCO;

- Les paramètres des substances toxiques : l'arsenic, le cadmium, le chrome total, le mercure et le plomb ;

- Les paramètres bactériologiques par la recherche des coliformes et des streptocoques fécaux, et le clostridium perfringens ;

- Les facteurs démographiques et économiques : Dans les ménages, plusieurs paramètres peuvent avoir une influence sur la qualité de l'eau de boisson. Il s'agit de la taille du ménage, de la profession exercée par le chef de ménage ainsi que le niveau économique du ménage. Ces différents paramètres peuvent agir sur la qualité de l'eau de boisson consommée et ont un effet sur les facteurs environnementaux ;

- Les facteurs environnementaux que sont : la source d'eau elle-même, le mode d'évacuation des excréta, la distance entre la source d'eau et le ménage, la distance et la position du puits par rapport aux latrines, les excréta humains et animaux, les dépotoirs sauvages, le dispositif de protection de puits, les méthodes de recueil, de transport et de stockage, le sol (perméabilité vers les nappes phréatiques) ;

-Les facteurs de la santé : l'état de santé au niveau des ménages, les plaintes déclarées (présence de symptômes intestinaux, maladies) par les ménages et les maladies liées à l'eau de boisson relevées dans les registres des centres de Santé.

1.2.3 Hypothèses

- Les sources d'eau disponibles utilisées comme eau de boisson dans la commune d'Abomey-Calavi paraissent de bonne qualité pour la consommation humaine.

- Les eaux de boisson constituent des risques en matière de santé pour les populations fragiles dans la commune d'Abomey-Calavi au Bénin.

1.2.4 Objectifs

- Objectif général

Etudier les facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson dans la commune d'Abomey-Calavi et son lien avec la santé de la population en vue de prendre des mesures pour l'amélioration de leur santé.

- Objectifs spécifiques

a- Identifier les facteurs de risques intrinsèques et extrinsèques liés à la contamination des eaux de boisson dans la Commune d'Abomey Calavi

b- Mesurer les indicateurs de contamination physico-chimique et microbiologique des eaux de boisson dans cette communauté

c-Déterminer les facteurs démographiques, économiques, socioculturels, comportementaux et environnementaux qui influencent la qualité de l'eau de boisson dans la commune d'Abomey –Calavi.

d- Réaliser la cartographie des puits et robinets prélevés dans la zone d'étude

e- Estimer les risques liés à la santé de la population dans la zone d'étude par la consommation d'eau de boisson.

f- Déterminer la prévalence des maladies hydriques dans la zone d'étude

g- Proposer des solutions pour améliorer la qualité de l'eau de boisson.

1.2.5 Thèse

La consommation d'eau par les populations est un déterminant important du développement durable de ces populations. Ce développement est un processus conduisant au maintien et à l'amélioration du bien-être des humains. L'activité économique et le bien-être matériel demeurent essentiels. Ils supposent notamment un niveau de qualité touchant la santé, l'éducation, la préservation de l'environnement, l'intégrité culturelle. Il doit être vu aussi comme une démarche

visant l'amélioration continue de la qualité de vie des citoyens par la prise en compte du caractère indissociable des dimensions environnementale, sociale, économique et culturelle du développement dans une perspective d'équité intra (entre différents groupes de personnes vivant aujourd'hui) et intergénérationnelle(tenant compte des droits des générations futures). L'eau est un des vecteurs majeurs du développement durable.L'accès des populations à une eau de qualité a comme conséquence et pour objectifs la lutte contre la pauvreté, d'assurer la promotion sociale, de favoriser les activités économiques et de protéger l'environnement.

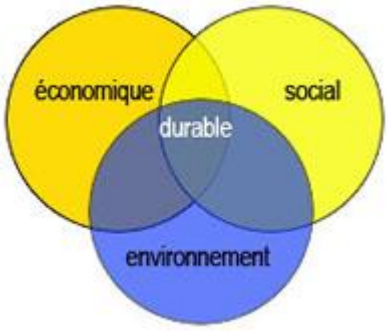

Figure 2 : Schéma du développement durable

Source : http://www.isere-agenda21.fr

A travers le processus du développement durable, nous allons étudier les facteurs associés à la problématique de la qualité de l'eau de boisson dans la commune d'Abomey-Calavi et son lien avec la santé de la population sur ces trois pôles. Le but poursuivi est de réduire le taux de morbidité et de mortalité engendré par la pollution des eaux sous toutes ces formes dans cette communauté.

1.3 DEFINITION OPERATOIRE DES CONCEPTS

- **Contaminant :** Une matière solide, liquide ou gazeuse, un microorganisme, un son, une vibration, un rayonnement, une chaleur, une odeur, une radiation ou toute combinaison de l'un ou de l'autre susceptible d'altérer au-delà des normes légales habituellement admises, la qualité de l'environnement.

- **Contamination :** C'est la transmission d'une maladie par contact direct ou indirect ; c'est aussi la transmission d'un état affectif.

- **Polluant :** Tout rejet solide, liquide ou gazeux, tout déchet, odeur, chaleur, son, vibration, rayonnement ou combinaison de ceux-ci susceptible de provoquer une pollution.

- **Pollueur** : Toute personne physique ou morale qui, par son acte ou son activité, provoque une contamination ou une modification directe ou indirecte de l'environnement.

- **Pollution :** Toute contamination ou modification directe ou indirecte de l'environnement provoquée par tout acte susceptible :

  - d'affecter défavorablement une utilisation du milieu profitable à l'homme ;

  - de provoquer une situation préjudiciable à la santé, la sécurité, le bien être de l'homme, de la flore et de la faune ou à la sécurité des biens collectifs et individuels.

- **Hygiène publique :** C'est l'ensemble des mesures de protection de la santé. Elle couvre la protection de l'individu, de la collectivité, elle englobe la prophylaxie des maladies transmissibles, hygiène alimentaire, l'éducation pour la santé, l'assainissement.

- **Assainissement :** Pour un Comité d'Experts de l'OMS, l'assainissement c'est l'action qui vise à l'amélioration de toutes les conditions qui dans le milieu physique de la vie humaine, influent ou sont susceptibles d'influer défavorablement sur le bien-être physique, mental ou social.

- **Soins de santé primaires :** On entend par soins de santé primaires, des soins de santé essentiels, universellement accessibles à tous les individus et à toutes les familles, par des moyens qui leur sont acceptables, avec leur pleine participation et à un coût abordable pour la Communauté et le pays.

- **Eau de boisson :** Toute eau destinée à la consommation humaine dont les caractéristiques respectent les normes bactériologique et physicochimique recommandées. Ainsi, l'eau de boisson est une eau non polluée, sans odeur, limpide, incolore, de saveur agréable avec un pH compris entre 6,5 et 8,5. Elle ne doit contenir aucune substance toxique minérale ou organique. Elle est exempte de germes pathogènes.

- **<u>Eau potable</u> :** Une eau potable est une eau que l'on peut boire sans risque pour la santé. Afin de définir précisément une eau potable, des normes ont été établies qui fixent notamment les teneurs limites à ne pas dépasser pour un certain nombre de substances nocives et susceptibles d'être présentes dans l'eau. Le fait qu'une eau soit conforme aux normes, c'est-à-dire potable, ne signifie donc pas qu'elle soit exempte de matières polluantes, mais que leur concentration a été jugée suffisamment faible pour ne pas mettre en danger la santé du consommateur. Selon ces normes, une eau potable doit être exempte de germes pathogènes (bactéries, virus) et d'organismes parasites, car les risques sanitaires liés à ces micro-organismes sont grands. Elle ne doit contenir certaines substances chimiques qu'en quantité limitée **:** il s'agit en particulier de substances qualifiées d'indésirables ou de toxiques, comme les nitrates et les phosphates, les métaux lourds, ou encore les hydrocarbures et les pesticides, pour lesquelles des "concentrations maximales admissibles" ont été définies.

  Une eau potable doit aussi être une eau agréable à boire : elle doit être claire, avoir une bonne odeur et un bon goût. Pour avoir bon goût, il lui faut contenir un minimum de sels minéraux dissous (de 0,1 à 0,5 gramme par litre), lesquels sont par ailleurs indispensables à l'organisme.

  Selon le code de la santé publique, l'eau potable ne doit pas porter atteinte à la santé de ceux qui la consomment.

  Toutes les eaux destinées à la consommation humaine doivent être potables :

- les eaux délivrées au public par quiconque en vue de l'alimentation humaine, à titre onéreux ou à titre gratuit ;

- les eaux conditionnées, à l'exclusion des eaux minérales naturelles ;

- les eaux utilisées dans les entreprises alimentaires ;

- la glace alimentaire d'origine hydrique.

- **Hygiène :** C'est l'ensemble des mesures et pratiques qui tendent à prévenir la maladie et à améliorer la santé.

- **Ménage** : C'est un groupe d'individus vivant sous le même toit, ayant des besoins vitaux et qui vivent des mêmes revenus.

- **Qualité de l'eau de boisson :** C'est l'eau qui respecte les normes recommandées par l'Organisation Mondiale de Santé sur le plan microbiologique, physicochimique et toxicologique.

- **Contamination de l'eau :** Dégradation de la qualité de l'eau de boisson par introduction d'éléments étrangers susceptibles de porter préjudice à la santé et à la qualité de vie.

- **Risque :** La probabilité qu´un effet spécifique se produise dans une période donnée ou dans des circonstances déterminées. En conséquence, un risque se caractérise par deux composantes : la probabilité d´occurrence d´un événement donné et la gravité des effets ou des conséquences de l´événement supposé pouvoir se produire.

- **Facteur de risque :** (intrinsèque et extrinsèque) : Facteur qui modifie la relation entre le danger (facteur de risque) et le risque.

- **Danger :** C'est un évènement ou situation susceptible d'altérer l'intégrité physique d'une personne ou une situation, condition ou pratique qui comporte en elle –même un potentiel à causer des dommages.

- **Modélisation :** Equation mathématique permettant de reproduire un phénomène physique, biologique ou chimique. Elle est notamment utilisée pour :

  i) simuler le devenir et le transfert des polluants dans les différents compartiments environnementaux ;
  ii) quantifier l'exposition humaine par les voies orale, cutanée et respiratoire ;
  iii) extrapoler la courbe dose-réponse, pour les effets cancérogènes, des fortes doses vers les faibles doses ;
  iv) quantifier l'excès de risque individuel ou collectif.

- **Eau usée :** C'est l'eau qui provient des agglomérations. Elle est constituée par les déchets domestiques et ceux qui résultent des activités publiques ; elle est responsable essentiellement d'une contamination biologique par les micro-organismes et d'une pollution organique par des produits putrescibles (biodégradable).

- **Eau vanne :** Elle désigne l'eau domestique qui contient exclusivement les urines et matières fécales.

- **Eau conditionnée :** Appellation désignant des eaux destinées à être bues et commercialisées en bouteilles (1, 5 L maximum) ou en canettes aluminium. Les eaux embouteillées peuvent être de trois types différents : eau minérale naturelle, eau de source ou eau rendue potable par traitement.

- **Eau de source :** Une eau de source est une eau souterraine captée et conditionnée à la source, propre à la consommation humaine sans traitement. Sa composition peut varier. Elle n'a pas de propriété thérapeutique reconnue.

- **Une eau de table :** C'est une eau « purifiée » propre à la consommation par l'homme. Elle est comparable à l'eau du robinet mais n'a pas le goût de « chlore », car elle n'a pas subi le traitement contre les contaminations microbiennes que nécessite le transport de l'eau du robinet dans les canalisations

- **Eau minérale naturelle :** Une eau minérale naturelle est une eau souterraine de composition sensiblement constante, captée et conditionnée à la source, propre à la consommation humaine sans traitement, et utilisée à des fins thérapeutiques. Par sa composition et notamment du fait de la présence d'oligoéléments, elle contribue au bon fonctionnement de l'organisme.

- **Eau polluée :** Une eau polluée est une eau dont les qualités physiques sont altérées par l'introduction des substances qui provoquent sa turbidité, une couleur indésirable, un mauvais goût ou une mauvaise odeur.

- **Eau de distribution interne :** Eau potable distribuée par le réseau interne de l'établissement (généralement cette eau est identique à l'eau de distribution publique).

- **Eau de distribution publique :** Encore appelée « eau de ville » ou « eau d'adduction publique », il s'agit de l'eau potable distribuée par la ville jusqu'au compteur de l'utilisateur. Quel qu'il soit, le distributeur est tenu de délivrer de l'eau répondant aux critères physicochimique et microbiologiques de potabilité.

- **Population fragile :** Ensemble des personnes faibles ou vulnérables du point de vu santé et âge (les enfants de 0 à 5 ans, les femmes enceintes, les immuno-déprimés et les personnes de troisième âge)

1.4 ETAT DES CONNAISSANCES DES ELEMENTS UTILES AUX ETUDES DE LA THESE

L'eau constituant majeur de toutes cellules animales ou végétales du liquide organique, l'eau est indispensable aux échanges biologiques. Elle est nécessaire pour l'hygiène personnelle et collective. L'absence ou l'insuffisance d'eau saine est cause majeure des déficiences sanitaires observées dans les pays en développement.

1.4.1 Problème de quantité

Sur la Terre, l'eau est la seule substance qu'on trouve dans ses trois phases à l'état naturel : solide (glace, neige), liquide (eau liquide) et gazeux (vapeur d'eau). Malgré le fait que le pourcentage de vapeur d'eau dans l'atmosphère est faible (0 à 4 % de la composition de l'atmosphère), la quantité d'eau est étonnamment grande et elle joue un rôle prépondérant dans le transport d'énergie autour de la planète. On a déjà calculé qu'il y a, au-dessus de l'Amérique du Nord, environ six fois plus d'eau transportée par l'atmosphère que par toutes ses rivières combinées.

L'eau s'évapore, se condense et se précipite continuellement dans un cycle infini qui entraîne d'énormes échanges d'énergie. L'eau s'évapore de toutes les étendues d'eau, depuis la simple flaque jusqu'aux océans.

De l'eau s'évapore aussi de la végétation : on parle alors d'évapotranspiration. Lorsque la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère devient suffisamment grande, la vapeur se condense sur des particules en suspension dans l'air pour

former les nuages. Les nuages précipitent éventuellement sous forme de pluie, de neige ou de grêle. L'eau qui est libérée retourne au sol où elle est absorbée par la végétation ou ruisselle vers les rivières et les fleuves si elle n'est pas absorbée par le sol. L'eau peut également percoler (pénétrer lentement dans le sol) vers les couches les plus profondes pour alimenter la nappe phréatique et le système des fleuves et des rivières.

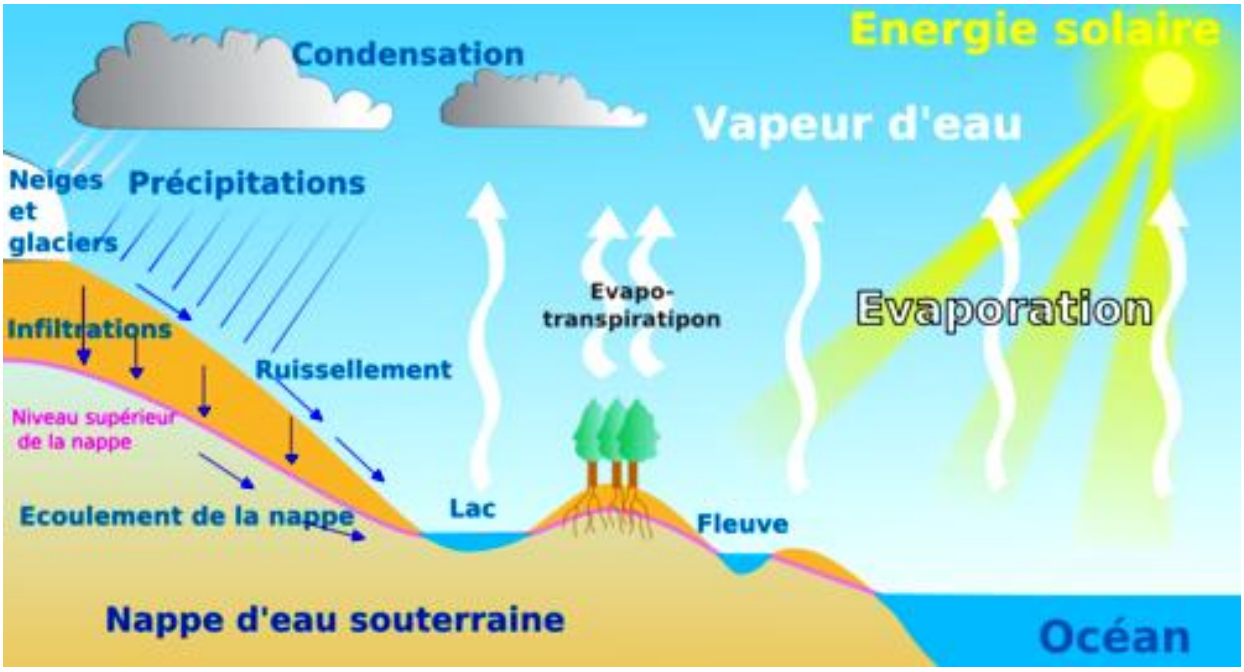

Figure 3 : Cycle de l'eau

Source : Centre National de la Recherche Scientifique(CNRS) : webmaster@eau-direct.f

De ce cycle nous pouvons dégager trois sources d'approvisionnement en eau que sont :

- les eaux de surface
- les eaux météoriques (eaux de pluies)
- les eaux souterraines.

- Les eaux de surface sont des eaux de mer, de rivières, des lacs, des fleuves.

Elles sont largement utilisées mais sont sujettes à la contamination du fait des eaux de ruissellement et des eaux résiduaires, ces eaux couvrent la terre. La terre «planète bleue» en raison de la présence d'eau, 97,5% de celle-ci consiste toutefois en eau salée dont l'essentiel est dans les océans et 2,5% seulement en eau douce. La composition chimique des eaux de surface dépend de la nature des terrains traversés par ces eaux durant leurs parcours dans l'ensemble des bassins versants. Ces eaux sont le siège, dans la plupart des cas, d'un développement d'une vie microbienne à cause des déchets rejetés dedans et de l'importante surface de contact avec le milieu extérieur. C'est à cause de ça que ces eaux sont rarement potables sans aucun traitement.

- Les eaux météoriques (eaux de pluies)

Les pluies ne constituent qu'un rapport d'eau d'alimentation. Elles sont très utiles et précieuses dans les régions où les précipitations sont rares.

- Les eaux souterraines

Elles sont plus minéralisées. L'eau de pluie qui arrive sur le sol dissout les substances solubles des roches et acquiert de nouvelles caractéristiques physiques et chimiques. Cette minéralisation dépend de la nature des roches lessivées, de la solubilité des sels minéraux, du temps de contact de l'eau avec les minéraux, de l'alimentation plus ou moins importante des aquifères. Parmi ces eaux souterraines, on distingue les aquifères peu profonds et les aquifères profonds.

Les aquifères peu profonds peuvent appartenir à deux catégories : les nappes alluviales en liaison avec les lits des rivières et les premières nappes sous le sol appelées aussi nappes phréatiques. Ces eaux ont une qualité variable qui dépend du substratum et de l'état des rivières avec lesquelles les échanges sont effectués.

Cette qualité variable dépend également de la période de l'année : en saison sèche, ces eaux sont directement alimentées par les eaux de la rivière ou, si les rivières s'assèchent elles tendent à diminuer de volume et sont faiblement minéralisées.

En saison humide, elles sont également alimentées par les eaux de pluies qui s'infiltrent.

En fonction des matériaux constituant le sol, ces nappes peuvent être contaminées, elles nécessitent impérativement une désinfection et une protection efficace si elles sont exploitées pour la boisson.

Les aquifères profonds sont les plus souvent naturellement potables. Ces eaux profondes sont celles qu'on recherche en priorité pour l'alimentation des populations. Elles présentent en général une faible turbidité et peu de contamination bactériologique. Leurs caractéristiques physiques et chimiques sont stables et dépendent de la nature géologique des sols. Elles peuvent cependant comporter des éléments en excès à éliminer provenant des couches géologiques (nitrate, fer).

1.4.2 Problème de qualité de l'eau.

Plusieurs facteurs concourent à la pollution de l'eau. Au nombre de ceux-ci, on peut citer :

- les facteurs biologiques : bactéries, parasites, virus, champignons ;
- les facteurs chimiques : pesticides, nitrates, sels ammoniacaux, sels de métaux lourds ;
- les facteurs physiques : produits radioactifs, déversements d'eau chaude.

1.4.2.1 Caractères d'une eau potable

Une eau potable doit être limpide, incolore, fraîche (10° - 12° C), inodore et de saveur agréable. Le pH est de 7. Elle ne peut contenir de substances toxiques minérales ou organiques et elle doit être exempte de germes pathogènes.

1.4.2.2 Qualité de l'eau de boisson.

La potabilité de l'eau s'apprécie par rapport à trois catégories de caractéristiques :

- l'absence de germes pathogènes et d'organismes parasites responsables de maladies contagieuses ;
- les caractéristiques organoleptiques : **turbidité, odeur, saveur, couleur** qui concourent à l'agrément et au désagrément d'eau de boisson ;
- la teneur limite d'un certain nombre de substances toxiques ou indésirables.

Les directives pour la qualité de l'eau potable telles qu'établies par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont pour but la protection de la santé publique.

L'observance de ces directives permettra d'éliminer ou de réduire au minimum des constituants de l'eau connus pour être un risque pour la santé et le bien-être de la collectivité. Pour cette raison des valeurs guides ont été élaborées et recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Une valeur guide représente la concentration d'un composant qui ne présente aucun risque pour la santé d'une personne qui consommerait l'eau en question pendant toute sa vie. Ces valeurs guides servent de valeur de référence à partir de laquelle des normes nationales seront élaborées. Ces normes sont établies en tenant compte du contexte socio-économique, environnemental, culturel, local et national.

Au niveau international, par les recommandations de l'OMS [5].

Au niveau régional : nous avons par exemple la directive 80/778/CEE [81].

Au niveau de chaque pays : par exemple au Bénin nous avons le décret n°2001-094 du 20 Février 2001 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin [82]

1.4.2.2.1 Aspects physiques et organoleptiques

a) Aspects physiques

- Température : Une eau fraîche est généralement plus agréable au goût qu'une eau tiède. C'est un paramètre important car il agit sur la nature physique, chimique et

microbiologique de l'eau. Il influe donc sur tous les aspects du traitement et de la production de l'eau potable. La température idéale est comprise entre 6° et 12°C ;

- Le pH : il est un indicateur de l'acidité ou de l'alcalinité de l'eau ; C'est l'un des paramètres opérationnels de la qualité de l'eau. Le pH est lié à la nature géologique des terrains traversés. Les valeurs normales sont comprises entre 6,5 et 8,5. En dessous de 6, l'eau est corrosive et au-dessus de 8,5 il y a risque d'entartrage et de mauvaise efficacité du chlore, irritations oculaires et cutanées lors des toilettes

- Conductivité : Elle permet d'apprécier le degré de minéralisation de l'eau. Sa variation permet de suivre l'évolution d'une pollution chimique. La conductivité montre comment l'eau se comporte par rapport au courant électrique. Plus l'eau est riche en sels minéraux, plus la conductivité est élevée. La valeur indicative est de 2000 µs/cm.

- Turbidité : La turbidité traduit la présence de matières étrangères en suspension dans l'eau et éveille la méfiance et la répugnance du consommateur. En outre, elle nuit au taux de filtration et risque de diminuer l'efficacité de la désinfection, le contact entre les germes pathogènes et l'agent désinfectant étant défavorisé. L'un des buts primordiaux du traitement est de réduire la turbidité. Elle s'exprime en NFU. Elle peut être due au dysfonctionnement, à l'insuffisance du traitement ou aux phénomènes de corrosion dans le réseau entraînant des dépôts dans les canalisations.

Effets sur la santé et limites de qualité : La turbidité peut avoir des effets importants sur la qualité microbienne de l'eau potable. En effet, la croissance microbienne dans l'eau est particulièrement marquée à la surface des particules et à l'intérieur des flocs, naturellement présents dans l'eau ou formés lors de la coagulation. Ce phénomène résulte de l'adsorption d'éléments nutritifs aux surfaces, ce qui permet aux bactéries de croître plus efficacement dans l'eau potable. La norme applicable est de 2 NFU au robinet du consommateur et la concentration maximale admissible est de 5 NFU

-Total des sels dissous : Ce sont essentiellement des minéraux solubles dans l'eau : calcium, magnésium, sodium, bicarbonates, chlorures et sulfates. Ils confèrent à l'eau son goût. La valeur indicative proposée est de 100 mg/L.

b- Traits organoleptiques.

Les caractères organoleptiques sont un ensemble d'éléments permettant d'apprécier la qualité de l'eau : l'odeur, la transparence, la saveur et la couleur. Une eau potable doit-être exempte de tout caractère organoleptique.

1.4.2.2.2. Aspects chimiques

Les problèmes de qualité restent le plus souvent liés à la contamination bactériologique mais il peut aussi s'agir d'une contamination chimique des ressources hydriques. Il s'agit entre autres :

- Les chlorures

La présence de chlorures dans les eaux est due le plus souvent à la nature des terrains traversés. On les retrouve dans presque toutes les eaux naturelles. Ils affectent le goût au-dessus de 250 mg/L. Une augmentation de la teneur en chlorure peut être signe de pollution.

- Les sulfates

La présence des sulfates est liée à la nature des sols traversés, les sulfates peuvent également provenir de rejets industriels divers. Une concentration élevée peut avoir un effet laxatif sur le consommateur et agir sur la corrosion des métaux constituant la pompe. La valeur indicative est à 400mg/L.

- Les fluorures

Le fluor (F) est le premier élément de la famille des halogènes et le plus réactif des tous les éléments chimiques. Le terme "fluorure" (ou "ion fluorure") désigne sa forme ionique (F^-) et "fluorures" désigne les composés, organiques ou inorganiques, contenant du fluor. Le fluor ne se présente pas à l'état élémentaire dans la nature, mais plutôt sous forme de fluorures que l'on retrouve partout : dans le sol, l'air et l'eau, de même que dans les plantes et les animaux. On attribue aux fluorures des effets nocifs laissant de taches sur les dents (pour des concentrations supérieures à 1,5 mg/L) jusqu'à des anomalies osseuses (pour des concentrations de 3 à 6 mg/L) qui peuvent être très graves pour des concentrations de 10 mg/L. La valeur indicative a été fixée à 1,5 mg/L, il faut toutefois tenir compte des conditions climatiques de la région qui peuvent amener une consommation plus importante d'eau.

- Les nitrates, nitrites et ammonium

Les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-) sont des ions présents de façon naturelle dans l'environnement. Ils sont le résultat d'une nitrification de l'ion ammonium (NH_4^+), présent dans l'eau et le sol, qui est oxydé en nitrites par les bactéries du genre Nitrosomonas, puis en nitrates par les bactéries du genre Nitrobacter (Santé Canada, 1992). Les nitrates sont très solubles dans l'eau; ils migrent donc aisément dans la nappe phréatique lorsque les niveaux excèdent les besoins de la végétation (Santé Canada, 1992). La toxicité des nitrates résulte de leur réduction en nitrites et de la formation de méthémoglobine d'une part et de leur contribution possible à la synthèse endogène de composés N-nitrosés d'autre part. La présence de nitrates dans l'eau de consommation est principalement attribuable aux activités humaines (Santé Canada, 1992). L'utilisation de fertilisants synthétiques et de fumiers, associée aux cultures et à l'élevage intensifs, favorise l'apparition de nitrates dans l'eau. Les installations septiques déficientes, de même que la décomposition de la matière végétale et animale, peuvent aussi être une source de nitrates dans l'eau (Levallois et Phaneuf, 1994). Le risque de contamination est plus important si le sol recouvrant la nappe d'eau est vulnérable (ex : sablonneux) et si la nappe est peu profonde (puits de surface). Ce sont aussi les composés minéraux entrant dans le cycle de dégradation des matières organiques.

L'oxydation azote ammoniacal entraîne successivement la formation de nitrites puis de nitrates. Les nitrates sont des molécules de NO_3^- naturellement présents dans la biosphère. Produits par les êtres vivants, par les industries, utilisés comme engrais

dans les exploitations agricoles pour améliorer les rendements, ils se retrouvent dans l'eau Par ruissellement ou par infiltration.

La présence de l'ammonium dans les eaux peut résulter de la décomposition ou la putréfaction de la matière organique (matières fécales, rejets organiques) en conditions anaérobiques.

L'exposition de la population aux nitrates et aux nitrites se fait principalement par les aliments et par l'eau de consommation. Dans le cas des enfants nourris avec du lait maternisé, l'eau utilisée pour la préparation du lait est la seule source de nitrates. Elle peut ainsi devenir une source importante d'exposition lorsque l'eau est contaminée par les nitrates. Très solubles dans l'eau, les nitrates constituent aujourd'hui la cause majeure de pollution des grands réservoirs d'eau souterraine du globe. Alors qu'en l'absence de contamination, la teneur en nitrates des eaux souterraines varie de 0,1 à 1 milligramme par litre d'eau, elle dépasse souvent aujourd'hui 45mg/L, norme retenue pour les eaux potables par l'Organisation mondiale de la santé. Désormais, de telles eaux nécessitent donc un traitement spécifique pour pouvoir être consommées. La pollution des eaux par les nitrates présente un double risque :

- Ingérés en trop grande quantité, les nitrates ont des effets toxiques sur la santé humaine ;

- Par ailleurs, ils contribuent avec les phosphates à modifier l'équilibre biologique des milieux aquatiques en provoquant des phénomènes d'eutrophisation des

écosystèmes (développement algal très important dans les eaux de surface qui réduit la biodiversité des écosystèmes) ;

Effets sur la santé **:**

La limite admissible est aujourd'hui fixée à 45 mg/l. En cas de dépassement, des informations sont transmises pour alerter le public afin de limiter la consommation de cette eau notamment vis-à-vis des nourrissons et des femmes enceintes car ils Peuvent engendrer la méthémoglobinémie surtout chez le nourrisson en cas de mauvaise hygiène

- Les sels de calcium et de magnésium

Les sels de calcium et de magnésium sous forme de carbonates et de bicarbonates sont évalués par la dureté totale ou titre hydrotimétrique (TH).

Le seuil gustatif pour l'ion calcium est compris entre 100 et 300 mg/l selon l'anion associé. Il est sans doute moins élevé pour magnésium. La valeur indicative donnée par l'OMS de 500 mg/L (exprimé en carbonate de calcium CaC_o3) est basée sur des considérations gustatives et est en relation avec les usages domestiques. Une eau dure (eau qui, contenant certains composés minéraux, ne forme pas de mousse avec le savon) entraîne une consommation excessive de savon, un dépôt de tartre dans les ustensiles utilisés pour bouillir l'eau. Par contre, une eau douce contient peu de calcium et de magnésium.

- Le fer et le manganèse

De nombreux métaux, cependant, sont nécessaires aux plantes, aux animaux et aux humains, chez qui ils interviennent au niveau des enzymes et du métabolisme. C'est le cas du fer et du manganèse qui sont parmi les éléments essentiels de la nutrition. Les conséquences d'un excès de fer ou de manganèse ne peuvent se produire qu'à des doses qui n'ont rien à voir avec ce que peut apporter l'eau. Par contre, la présence de fer dans l'eau au- delà de 0,3mg/L peut être gênante car elle confère à l'eau une couleur jaune à orangée, provoque des dépôts d'hydroxyde ferrique, donne un goût métallique désagréable et tache le linge. La présence de manganèse, plus encore que pour le fer, est gênante car elle peut donner à l'eau une couleur noirâtre, provoquer des dépôts d'hydroxyde, lui conférer un goût métallique désagréable et tacher le linge.

- L'aluminium

L'aluminium est l'un des métaux les plus utilisés, et aussi l'un des composés les plus abondants dans l'écorce terrestre. Sa présence dans l'eau provient également des composés utilisés comme coagulants dans les systèmes de distribution d'eau. Plusieurs voies d'exposition contribuent à l'apport total en aluminium chez l'homme, mais la part attribuable à l'eau constitue probablement moins de 5%. Composant fondamental des roches et du sol, l'aluminium est un constituant naturel des eaux souterraines et de surface. Les plus fortes concentrations en aluminium se retrouvent dans les eaux de drainage des régions soumises aux pluies acides, où l'acidité des roches facilite la mobilisation de l'aluminium à partir du sol. L'acidité entraîne une dissolution et un transport des sels d'aluminium en solution, qui sont alors absorbés par les végétaux et les animaux. L'aluminium est également présent sous forme de

particules de poussière dans l'air, les silicates d'aluminium contribuant pour une large part aux teneurs de ces poussières provenant du sol. L'homme est ainsi exposé à l'aluminium d'origine naturelle par contact direct avec le sol, l'air, l'ingestion d'aliments provenant de la terre et l'eau de source.

Risque sanitaire : Les effets toxiques de l'aluminium, révélés lors de fortes expositions chroniques, sont essentiellement neurologiques (encéphalopathie, perturbations des fonctions psychomotrices), osseux (ostéomalacie) et hématologiques (anémie microcytaire). L'aluminium est responsable également de réactions immunologiques et allergiques. D'autres effets suspectés n'ont pas été confirmés, il s'agit en particulier de la maladie d'Alzheimer. Dans la population générale, de nombreuses études épidémiologiques ont porté sur le lien éventuel entre la présence d'aluminium dans l'eau de boisson et la maladie d'Alzheimer. "Les données épidémiologiques et physiologiques dont on dispose à l'heure actuelle ne permettent pas d'attribuer un rôle étiologique à l'aluminium dans la maladie d'Alzheimer", indique le rapport relatif aux Directives de qualité pour l'eau de boisson de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) 1994. Le rapport du PISC Programme international sur la sécurité chimique publié en 1997 confirme cette analyse du risque.

Compte tenu des connaissances actuelles sur la toxicité de l'aluminium, l'OMS a adopté une valeur guide pour l'aluminium dans l'eau de boisson égale à 200 µg/l, valeur non fondée sur des considérations sanitaires, mais sur des considérations de coloration de l'eau traitée

- Le cadmium

Le cadmium (Cd) est présent à l'état naturel dans la plupart des roches à des concentrations très faibles, ainsi que dans le charbon et le pétrole. Le cadmium peut être présent dans l'eau naturelle par contact avec des roches et des minéraux dissous. Dans l'eau, le cadmium n'a ni goût, ni odeur, ni couleur, et ne peut être détecté que par une analyse chimique. Selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable la concentration maximale acceptable pour le cadmium est de 0,005 milligramme par litre (mg/L) ou 5 µg/L. Une exposition de courte durée (quelques jours ou semaines) au cadmium présent dans l'eau potable à des concentrations élevées peut causer des nausées, des vomissements et de la diarrhée. Une exposition à long terme (plusieurs années ou décennies) au cadmium présent dans l'eau potable peut causer des dommages aux reins. Seule l'ingestion de cadmium pose un risque pour la santé – en buvant, en cuisinant ou en se brossant les dents. L'eau de puits contenant des concentrations de cadmium supérieures à 0,005 mg/L peut être utilisée sans danger pour le bain, se laver les mains et faire la vaisselle.

- L'arsenic

L'arsenic est un élément naturel très répandu dans la croûte terrestre. Il est présent dans certaines réserves d'eau potable, y compris les puits. L'exposition à de fortes concentrations d'arsenic peut avoir des effets sur la santé. Toute matière vivante contient des traces d'arsenic. Les aliments sont la principale source d'exposition à l'arsenic, suivis de l'eau potable, du sol et de l'air. L'eau potable représente la principale source d'exposition uniquement chez les personnes vivant près d'une source d'arsenic. L'arsenic s'infiltre naturellement dans les lacs, les rivières ou l'eau souterraine lorsque des dépôts minéraux ou des roches qui en contiennent se

dissolvent. L'arsenic peut aussi s'infiltrer dans l'eau lors du déversement de déchets industriels ou lorsque des particules se mêlent à la poussière ou sont dissoutes dans la pluie ou la neige.

Ces particules peuvent être rejetées dans l'environnement par :

• la combustion de combustibles fossiles (notamment le charbon) ;
• la production de métaux (extraction d'or et de métaux communs, par exemple);
• les activités agricoles (utilisation de pesticides et d'additifs pour l'alimentation animale) ;
• l'incinération de déchets.

Les données indiquent que les concentrations d'arsenic dans l'eau potable sont généralement inférieures à 0,05 milligrammes par litre (50 µg/L), mais elles peuvent être supérieures à certains endroits. Le corps absorbe l'arsenic présent dans l'eau potable que vous buvez et le sang le transporte dans l'organisme. L'arsenic ne peut pas s'infiltrer dans l'organisme par la peau ou par inhalation lors du bain ou de la douche. À la longue, l'arsenic s'accumule dans les ongles et les cheveux, où les concentrations sont les plus élevées. Le corps s'en débarrasse surtout dans l'urine, mais de petites quantités sont éliminées par la peau, les cheveux, les ongles et la sueur. Santé Canada et le Centre international de recherche sur le cancer considèrent l'arsenic comme une substance cancérigène pour l'humain. On a étudié les effets dans une population de Taïwan où l'eau potable contient de fortes concentrations naturelles d'arsenic (plus de 0,35ppm). L'étude indique que le fait de consommer une

eau à forte teneur en arsenic toute la vie durant peut augmenter le risque de cancer dans certains organes internes comme la vessie, le foie et les poumons. L'exposition prolongée (sur de nombreuses années) à de fortes concentrations d'arsenic dans l'eau potable peut aussi provoquer :

- un épaississement et une décoloration de la peau ;
- des nausées, une diarrhée ;
- une baisse de la production de cellules sanguines ;
- une arythmie cardiaque, des dommages aux vaisseaux sanguins ;
- un engourdissement des mains et des pieds.

Une exposition de courte durée (quelques jours à quelques semaines) à de très fortes concentrations d'arsenic dans l'eau potable peut entraîner :

- des douleurs abdominales, des vomissements et de la diarrhée ;
- des crampes et des douleurs musculaires ;
- une faiblesse, ainsi que des rougeurs et des éruptions cutanées ;
- une sensation d'engourdissement, de brûlure ou de picotement ou des douleurs aux mains et aux pieds ;
- un épaississement de la peau sur la paume des mains ou sur la plante des pieds ;
- une perte de réaction motrice ou sensitive.

Les études n'indiquent aucune augmentation du risque d'effets sanitaires pour les enfants, les femmes enceintes ou d'autres groupes vulnérables.

- Le plomb

Le plomb est un métal grisâtre que l'on retrouve dans la croûte terrestre. Il existe plusieurs isotopes stables du plomb dans la nature, les plus abondants sont : 208Pb, 206Pb, 207Pb et 204Pb (Organisation mondiale de la Santé). Ces isotopes peuvent, dans certains cas, être utilisés pour identifier les sources de plomb auxquelles la population est exposée. Le plomb existe sous forme métallique, inorganique et organique. Le plomb métallique est insoluble dans l'eau. Très malléable et résistant à la corrosion, il a longtemps été utilisé dans la fabrication de conduites d'eau, de même que dans les alliages utilisés pour la soudure de la tuyauterie. Le plomb prend une forme inorganique lorsqu'il s'associe à certains composés pour former des sels de plomb. Parmi les sels de plomb les plus fréquemment rencontrés, on retrouve ceux du chlorure, du chromate, du nitrate, de l'oxyde, du phosphate et du sulfate. Quant au plomb organique, il se présente le plus souvent sous forme de plomb tétraméthyle (Pb(CH3)4) et de plomb tétraéthyle (Pb(CH2CH3)4), deux additifs autrefois utilisés pour augmenter l'indice d'octane dans l'essence.

Les sources d'exposition au plomb sont nombreuses. L'air, l'eau potable, les aliments et les poussières sont les principales sources auxquelles la population est généralement exposée. Santé Canada a évalué l'apport quotidien en plomb provenant de l'eau à 2,9 µg/j pour un enfant de deux ans et à 7,2 µg/j pour un adulte, ce qui représente, dans les deux cas, environ 10 % de l'apport quotidien total en plomb (Santé Canada, 1992). Quant à l'apport total en plomb, estimé à 29,5 µg/j

pour un enfant de deux ans et à 63,7 µg/j pour un adulte, il est permis de croire qu'il a diminué au cours de la dernière décennie avec, en particulier, le retrait progressif de la peinture au plomb et des boîtes de conserve soudées au plomb ainsi que l'élimination des additifs au plomb dans l'essence.

La principale voie d'absorption du plomb présent dans l'eau de consommation est l'ingestion. L'absorption par voie cutanée est considérée comme étant négligeable par rapport à l'ingestion étant donné le faible taux d'absorption cutanée du plomb. Selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable la concentration maximale acceptable pour le plomb est de 0,05 milligramme par litre (mg/L) ou 50 µg/L

- Le mercure

Il fait partie du groupe du zinc (IIB), avec le Zinc et le Cadmium. En latin le mercure se dit hydrargyrium qui veut dire "argent liquide». Le mercure est un métal liquide à la température ordinnaire. Son point de fusion est à -39 °C. Son abondance dans la lithosphère est peu importante, 80 ppb. Son minerai principal est le cinabre qui apparaît comme pierre rouge foncée. La production de mercure dans le monde est d'environ 6000 tonnes par an.

Sources :

- Appareils de précision. (Instruments brisés et contamination des sols !)
- Les industries utilisant la filière chloralacali: production de soude caustique, et de chlore
- Autres industries, notamment chimiques et pharmaceutiques (selon le process)
- Séparation or/ argent pour les amalgames (le terme amalgame est réservé pour les mélanges avec le mercure, sinon on parle d'alliage).

- Géologie : apport dans les cours d'eau lié à la déforestation (Brésil)

- Les incinérateurs (exposition atmosphérique) et autres combustions (le mercure est un composant parasite de combustibles fossiles): par exemple les centrales électriques au charbon (notons que 75% de l'électricité produite en Chine vient du charbon).

- Amalgame en dentisterie (50% de mercure + argent, étain, cuivre, et trace de sélénium)

- Certains produits décolorants des cheveux peuvent contenir du mercure.

- Dérivés organiques : dans la chaîne trophique (transformation du mercure en méthyl mercure) : Surtout les poissons et notamment les poissons gras (Thon par exemple).

- Les antiseptiques mercuriels et surtout le Thiomerosal utilisé dans les vaccins (risque chez des enfants). Le thiomerosal, pour la fraction qui n'est pas directement excrété par le rein, se transforme en ethyl-mercure, composé organique qui se comporte à peu de chose près, comme le méthyl-mercure.

- Insecticides, fongicides, bactéricides.

Au niveau de la population générale, le taux de mercure dans le sang ou les urines est le mieux corrélé avec les amalgames dentaires (sur base de leur importance), ensuite sur des éléments diététiques (consommation de poissons) et l'habitude tabagique.

Les vapeurs de mercure :

Les vapeurs de mercure sont toxiques par voie respiratoire. Elles sont incolores, inodores et non irritantes. Le point d'ébullition de ce liquide est de 357°C et son point

de fusion est de -39°C. Sa tension de vapeur à 20°C est importante (0,26 Pa). Elle augmente fortement avec une chaleur ambiante croissante. Les vapeurs de mercure sont très lourdes (plus lourdes que l'air) et ont tendance à rester au niveau du sol, sauf lorsqu'il y a du mouvement dans la pièce où se trouverait du métal mercure. Le mercure a tendance à s'oxyder en surface à l'air libre, et devient beaucoup moins volatil à ce moment (c'est le mercure "rouge" de l'expérience de Lavoisier, expérience qui est véritablement le point de départ de la chimie moderne). Ce mécanisme permet de maintenir le mercure dans une pièce pendant de longue période, puisque sa volatilité devient nettement moins importante. C'est pourquoi, après un accident qui aurait répandu du mercure et même si ce mercure n'est plus détectable après une bonne ventilation, une recherche soigneuse montre qu'il en reste encore beaucoup.

Ce mercure protégé par une fine pellicule d'oxyde de mercure va alors se disséminer dans les différents locaux. L'aspirateur est l'instrument idéal pour réaliser cela. Le rejet des eaux de lavage peut contaminer les siphons où le mercure va se concentrer. Lors d'usage d'eau chaude, les vapeurs pourront être libérées dans la pièce.

Les chaussures, vêtements sont également des transporteurs de mercure. Dans certains cas, la situation peut être préoccupante. La décontamination peut être difficile et passe éventuellement par l'usage de complexes contenant du soufre. Selon les recommandations pour la qualité de l'eau potable, la concentration maximale acceptable pour le plomb est de 0,001milligramme par litre (mg/L) ou 1 µg/L.

1.4.2.2.3 Aspects bactériologiques

L'idéal serait que l'eau ne contienne aucun microorganisme pathogène. Il faudrait qu'elle soit exempte de bactéries, signe de pollution. Pour garantir qu'un

approvisionnement en eau potable satisfait à ces directives, il importe d'examiner régulièrement des prélèvements à la recherche d'indicateurs de pollution. Le principal indicateur bactérien recommandé à cet effet est le groupe des coliformes dans son ensemble et surtout des coliformes d'origine fécale. La détection des coliformes fécaux ou coliformes thermotolérants notamment *Escherichia coli, Klebsiella* prouve d'une manière certaine qu'il y a pollution fécale. Les autres microorganismes indicateurs de pollution fécale sont les streptocoques fécaux, les *clostridium sulfito* réducteurs ou pectinolytiques (*clostridium*).

Les streptocoques fécaux peuvent être utilisés comme indicateurs de bactéries pathogènes (qui se multiplient peu dans l'environnement aquatique) et des virus (qui survivent plus longtemps en milieu aquatique que les coliformes fécaux).

Le *clostridium perfringens* est parfois utilisé comme témoin d'une contamination fécale ancienne ou indicateur d'efficacité de traitement d'eau de consommation. Il est également un indicateur d'un défaut d'oxygène dans le milieu.

a) Etude des marqueurs épidémiologiques des souches bactériennes

Lorsque plusieurs puits sont contaminés par une même espèce bactérienne, il est des cas où il est important de savoir s'il existe une source commune à ces contaminations. L'enquête épidémiologique peut permettre de formuler une ou plusieurs hypothèses. Pour cela il faut étudier des caractères susceptibles de varier à l'intérieur de l'espèce et qui serviront de marqueurs épidémiologiques. Les bactéries issues d'une même souche porteront les mêmes marqueurs, ce qui nous permettra de faire la traçabilité. Pour ce faire, on s'appuie sur l'analyse des marqueurs épidémiologiques qui peuvent

être phénotypique (le bio typage, la stéréotypie, la détermination de l'antibiotype, la lysotypie et l'étude de mobilité électrophorétique d'enzymes bactériennes) ou génotypique (analyse plasmidique, analyse des fragments obtenus par digestion du chromosome à l'aide d'enzymes de restriction et les techniques basées sur la PCR).

Dans le cadre de la présente thèse nous nous sommes beaucoup plus appesantis sur les marqueurs phénotypiques parce que le niveau d'équipement des laboratoires dans lesquels nous avons réalisé nos examens ne nous ont pas permis d'aller au séquençage.

1 - Etude des marqueurs phénotypiques

- Biotypie :

L'étude des caractères biochimiques des bactéries est communément pratiquée et représente le point de départ d'une identification rationnelle. Cependant, le pouvoir discriminatif du biotypage reste faible.

- Sérotypie :

L'étude des caractères antigéniques est une technique simple et rapide. Pour les bactéries, le sérotypage reste l'une des premières étapes d'identification. Cependant, plusieurs souches bactériennes peuvent représenter uniquement quelques sérotypes ou peuvent être non typables.

- Sensibilité aux bactériophages :

La sensibilité aux bactériophages repose sur la présence au niveau de la paroi bactérienne de récepteurs spécifiques à l'action lytique de certains bactériophages.

Bien que cette technique de lysotypie utilise un matériel peu coûteux, elle nécessite une main d'œuvre bien formée et reste en général réservée aux centres de référence.

- Test de sensibilité aux antibiotiques :

L'étude de la sensibilité des bactéries aux antibiotiques est une méthode couramment utilisée au laboratoire, facile à réaliser et relativement non coûteuse. Bien que l'antibiogramme reste un test indispensable pour guider le traitement antibiotique et le suivi épidémiologique des souches, son application est parfois limitée non seulement à cause des variations phénotypiques, mais aussi du fait que la résistance aux antibiotiques est soumise à une forte pression de sélection en milieu hospitalier. De plus, les plasmides et autres éléments génétiques mobiles hébergeant les gènes de résistance peuvent être échangés entre différentes souches. Par conséquent, différentes souches peuvent développer le même profil de résistance, alors que des isolats cliniques à partir d'une même souche peuvent engendrer des profils de résistance différents.

2 - Etude des marqueurs génotypiques

- Analyse plasmidique :

L'analyse du contenu plasmidique est l'une des premières techniques concernant l'ADN appliquée lors d'études épidémiologiques. Cependant, cette technique est limitée par l'instabilité du contenu plasmidique car ces éléments extra chromosomiques peuvent être spontanément perdus ou acquis et par conséquent des souches liées épidémiologiquement peuvent présenter des profils plasmidiques

différents. La pression de sélection extérieure peut causer un échange rapide des plasmides parmi les souches d'une même espèce et même parmi des espèces différentes [83]. De plus, certaines souches cliniques ne possèdent pas de plasmides et sont donc non typables par cette technique. Malgré ces limitations, l'analyse plasmidique reste d'un grand intérêt lors d'investigations épidémiologiques essentiellement lors d'épidémies d'une durée relativement courte.

- Etude du polymorphisme de restriction de l'ADN ribosomal (Ribotypage):

Cette technique est une approche ciblée dans laquelle seules certaines régions de l'ADN sont visualisées permettant ainsi de diminuer le nombre de bandes et donc de faciliter la comparaison des souches. Les fragments sont ensuite hybridés avec une sonde contenant une séquence d'ADN complémentaire d'une région spécifique de l'ADN bactérien. Le ribotypage se réfère aux séquences ribosomales qui sont hautement conservées. Grimont et ses collaborateurs ont utilisé une sonde contenant une séquence complémentaire aux ARN ribosomaux d'E. Coli qui s'hybride avec les séquences ribosomiques d'une large rangée d'espèces bactériennes [84].

Toutes les bactéries contiennent ces opérons et sont donc typables. En plus d'être universelle, la sonde froide a permis de pallier aux problèmes d'utilisation des radioéléments.

Cette technique a permis l'étude d'épidémies hospitalières dues à différentes espèces bactériennes telles que Serratia marcescens [85], Enterobacter cloacae [86], Pseudomonas aeruginosa [87] et Salmonella typhimurium [88]. En général, les résultats sont hautement reproductibles. Le pouvoir discriminatif est directement lié à la fréquence avec laquelle les fragments détectés varient en nombre et/ou taille

d'où l'importance du choix de la sonde et des enzymes lors de la digestion de l'ADN chromosomique.

- Electrophorèse en champ pulsé (ECP) :

L'électrophorèse en champ pulsé, développée en 1984 par Schwartz et Cantor, nécessite la préparation de l'ADN total des souches étudiées [89]. L'utilisation d'enzymes coupant l'ADN au niveau de sites rares permet l'obtention de fragments plus longs entraînant une diminution du nombre de bandes. Cette technique qui inclut les bactéries dans des petits blocs d'agarose a permis de pallier les problèmes de cassures de l'ADN lors de sa préparation en solution. Ce type d'électrophorèse est la technique la plus performante et la plus utilisée actuellement; les profils obtenus contiennent généralement 5 à 10 bandes distinctes. L'électrophorèse en champ pulsé présente presque toutes les qualités espérées d'un marqueur épidémiologique spécificité, stabilité et reproductibilité. Cette technique a été appliquée avec succès à de nombreux micro-organismes pour l'analyse épidémiologique.

- Amplification génique :

La PCR (Polymerase Chain Reaction) mise au point en 1985 par K. Mullis a connu le plus rapide développement dans l'histoire de la biologie moléculaire [90]. Parmi les différentes approches qui existent, la RAPD (Random Amplified Polymorphic DNA) reste la technique la plus utilisée en milieu hospitalier. Cette technique utilise des amorces de 10 à 15 nucléotides, les fragments amplifiés ont 300 à 4000 paires de nucléotides et sont séparés par électrophorèse en gel d'agarose. Les profils sont observés en fluorescence après coloration au Bromure d'éthidium. La RAPD est une

technique rapide, simple dont la reproductibilité et la stabilité ont été récemment rapportées [91]. Elle a été utilisée avec succès pour l'étude épidémiologique des bactéries suivantes : Klebsiella pneumoniae [92], Salmonella enteritidis [93], Listeria monocytogenes [94] et les staphylococcus coagulase-négative, résistants à la méthicilline [95].

1.4.2.2.4. Aspects parasitaires

Il n'existe aucun bon indicateur témoignant de la présence ou de l'absence de protozoaires pathogènes, d'helminthes ou d'organismes libres. La seule indication pouvant être donnée est que ceux-ci ne doivent être présents dans l'eau de boisson, car il suffit de quelques uns de ces organismes ou même d'un seul pour provoquer une infection chez l'homme. Parmi les espèces de protozoaires transmises par l'ingestion d'eau contaminée figurent notamment *Entamoeba histolytica, Giardia intestinalis, Balantidium coli.*

Deux groupes d'helminthes sont directement associés à l'approvisionnement en eau : *Dracunculus medininsis, Ancylostoma duodenalae*.

1.4.3 Traitement des eaux de boisson.

L'objectif fondamental du traitement de l'eau est de protéger les consommateurs des microorganismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. De nos jours, l'évolution des techniques analytiques a permis de raffiner les techniques d'analyse de l'eau. Du point de prise, l'eau subit différentes opérations

qui débutent par une pré-désinfection qui a pour rôle de réduire la concentration des microorganismes. On peut utiliser le chlore, le dioxyde de chlore ou l'ozone.
Le traitement comportera l'une ou la totalité des étapes suivantes :

- Sédimentation : c'est le traitement le plus simple. Il consiste à stocker l'eau dans les réservoirs pendant un bout de temps plus ou moins long. Les matières en suspension se déposent.

- Floculation : la sédimentation est favorisée par l'addition de réactifs chimiques floculants comme le sulfate d'alumine le « floc » qui en résulte peut éliminer dans de bonnes conditions les bactéries présentes.

- La décantation et filtration : on avait autre fois recours à la filtration lente sur sable fin, directement appliquée à l'eau brute. Actuellement les eaux brutes subissent d'abord un traitement de coagulation puis de décantation et leur filtration devient alors très rapide.

- La filtration : Elle permet d'arrêter les petites particules de floc contenues dans l'effluent du décanteur. Les méthodes modernes de filtration font cas à la microfiltration et à la nanofiltration. Cette étape constitue la dernière qui permet de réduire la turbidité et la couleur. L'eau ainsi filtrée subit une désinfection le plus souvent avec le chlore dans le but de détruire les microorganismes nuisibles à la santé et d'y maintenir une certaine concentration du chlore résiduel .Dans certains

cas on peut procéder à une fluoruration avant de refouler l'eau traitée vers le réservoir et est ainsi prête pour l'utilisation.

1.4.3.1 Méthodes de traitement

L'OMS estime que 94 % des épisodes diarrhéiques sont évitables moyennant des modifications de l'environnement, notamment par des interventions destinées à accroître l'offre d'eau salubre et à améliorer l'hygiène et l'assainissement [30]. Cette amélioration devrait se traduire par la réduction importante des cas de diarrhées. Pour garantir la qualité de l'eau de boisson, plusieurs méthodes de traitement sont utilisées soit à domicile soit au niveau des systèmes d'Alimentation en Eau Potable (AEP).

Les moyens utilisés pour désinfecter les eaux sont différents selon les quantités à purifier.

- Méthodes traditionnelles

Elles sont plus utilisées dans les milieux ruraux ou dans les zones déshéritées. Elles ne sont pas efficaces mais on assiste à une épuration partielle de l'eau traitée. Parmi ces méthodes on peut citer :

- la décantation
- la filtration
- l'ébullition.

- Méthodes modernes

Il existe plusieurs techniques de traitement afin d'obtenir une eau potable exempte de microorganismes. Au nombre de ces techniques nous pouvons citer la désinfection et les traitements spécifiques. Ces différentes techniques permettent d'obtenir une eau dont les caractéristiques organoleptiques sont conformes aux normes de potabilité.

La désinfection est l'étape ultime du traitement de l'eau de consommation. Elle consiste à éliminer tous les microorganismes pathogènes de l'eau. Il peut subsister quelques germes banals au cours de la désinfection car celle-ci n'est pas une stérilisation. Plusieurs procédés existent parmi lesquels nous avons :

- le permanganate de potassium ;
- l'iode (deux gouttes à 2% pour un litre d'eau claire et quatre gouttes pour une eau très polluée, laisser reposer au moins 30 mn avant consommation) ;
- L'ozone ;
- Le sulfate de cuivre ;
- Les rayons ultraviolets ;
- Le chlore et ses dérivés ;

Le chlore est l'agent chimique le plus utilisé actuellement. Son action dépend du pH de l'eau, de la teneur en matière organique et du taux de chlore utilisé.

Le chlore a une action rémanente et assure une meilleure protection de l'eau dans le réseau d'adduction : le chlore résiduel libre est de 0,1 à 0,2 mg/L.

- La chloration continue de l'eau de puits par pot diffuseur.

1.4.4 L'eau et les maladies

De nos jours, les problèmes de pollution constituent un danger de plus en plus important pour l'homme. Parmi ces problèmes, la contamination de l'eau se pose avec acuité. En effet, l'eau est affectée de façon croissante par des matières minérales et organiques et même des microorganismes dont certains sont pathogènes et donc dangereux pour la santé. L'eau souterraine, qui est jugée la plus potable, est la ressource la plus couramment utilisée dans les pays en développement. Cependant, cette eau est aussi très vulnérable à la pollution et sa protection s'impose à tous les niveaux.

- **Pollution des eaux souterraines :**

Bien que se trouvant en profondeur, ces eaux souterraines peuvent être polluées. Malgré les nombreux filtrages que subissent les eaux souterraines il est toujours possible qu'elles contiennent des bactéries ou des éléments indésirables. En effet, les puits sont généralement pollués par :

- la pénétration d'impuretés par les ouvertures ;
- la contamination par la présence de fosses septiques ;
- les fuites des conduits d'égouts ;
- l'infiltration des dépotoirs ou les terrains d'enfouissement ;
- les activités menées au tour du puits.

Avec la pluie les eaux sont entraînées en partie par ruissellement et s'infiltrent contribuant à la recharge de la nappe, mais aussi sa pollution par l'entraînement des matières organiques et minérales de la surface. La pollution est une dégradation de la

qualité de l'eau. L'analyse chimique d'une eau révèle la présence de certains éléments en solution ou en suspension. Ce sont la qualité et la quantité de ces éléments qui, d'une part définissent une eau, et d'autre part précisent et limitent son emploi aux divers usages : alimentation, besoins ménagés, besoins industriels, irrigation,…

Dans ces conditions il faut toujours envisager un traitement. L'eau contaminée par les excréta est susceptible de transmettre les maladies gastro-intestinales. En effet la pollution fécale peut introduire dans l'eau de boisson des risques :

- A court terme lorsque les sources de pollution sont urbaines, il s'agit du déversement incontrôlé de teinture, des eaux domestiques etc. Il peut arriver que ces eaux soient évacuées vers des puisards qui sont en communication directe avec la nappe ;

- A moyen terme lorsque les sources de pollution sont industrielles. Il peut s'agir des industries polluantes par leurs déchets ;

- A long terme avec le développement agricole, les produits utilisés dans le but d'améliorer les rendements agricoles. On peut citer : les engrais, les pesticides etc.

Les différents risques de l'eau sont : le risque d'ingestion ou risque directe ; risque de contact et le risque indirect. Le péril fécal pollue l'eau par les excréments dans les ressources aquatiques, directement lorsque celles-ci sont de surface (rivière, lac, …), ou par infiltration de la nappe phréatique. Le ruissellement des eaux de pluies,

lessivant les sols la collecte ou le stockage de l'eau de boisson peuvent aussi être des occasions de souillure fécale de l'eau.

Les pathologies liées à l'eau peuvent être d'origine bactérienne, virale, parasitaire, liées au manque d'eau et liées à la présence de substance chimique dans l'eau.

a - Maladies d'origine bactérienne :

Les eaux peuvent transmettre un certain nombre de maladies d'origine bactérienne. Parmi ces maladies on peut citer :

- Le choléra (*vibrio cholerae*) ;
- Les fièvres typhoïdes, paratyphoïdes ;
- Les gastro-entérites (*salmonella typhi, salmonella paratyphi A et B et E. coli*)
- Les Schigelloses ou dysenteries bacillaires (*shigella spp)*
- Les gastro-entérites aigües et diarrhées *(E. coli entérotoxinogène, Campilobacter jejuni/ coli Yersinia enterocolitica, Salmonella sp, Shigella sp*)

b – Maladies d'origine virale :

A coté des maladies d'origine bactérienne, nous avons des maladies virales. On peut citer :

- La poliomyélite (poliovirus) ;
- Les hépatites A et E (virus de l'hépatite A et E) ;
- Les gastro-entérites aigües et diarrhées (Rotavirus, Astrovirus, Entérovirus, Adénovirus etc...)

c - Maladies d'origine parasitaire :

En plus des maladies d'origine bactérienne et virale, on a d'autres maladies d'origine hydrique dues à des parasites comme :

- *l'Ankylostoma duodenalae* (Ankylostomiase) ;
- Les *Dracunculis medininsis* (Dracunculose) ;
- Les Kystes d'*Entamoeba histolytica* (la dysenterie amibienne) ;
- les gastro-entérites (*Giardia lamblia*, Cryptosporidium) ;
- les Schistosomiases (*Schistosoma haematobium*) etc.

d-Manque d'eau :

L'absence ou la rareté de l'eau est à l'origine de nombreuses pathologies. L'hygiène défectueuse favorise la multiplication et la transmission des champignons, des poux et de la gale. Elle crée aussi des conditions favorables pour certaines pathologies cutanéomuqueuses.

e- Maladies liées à la présence des substances chimiques dans l'eau :

La fluorose qui est due à une intoxication chronique par le fluor. Le saturnisme qui est l'ensemble des manifestations dues à une intoxication par le plomb. L'hyperthyroïdie, et la méthémoglobine provoquent des troubles graves, par altération de l'hémoglobine du sang et formation de metha-hemoglobine toxique pouvant conduire à l'asphyxie et la mort s'il n'y a pas de traitement. Consommer de

l'eau est un acte naturel et nécessaire. Le problème c'est qu'il n'est pas évident d'évaluer à vue de nez le risque que l'on s'apprête à prendre, d'autant que l'on ne dispose pas nécessairement de solution de rechange à l'eau dont on dispose. Toutes les eaux ne sont pas salubres. Malgré une structure moléculaire simple, HOH est complexe par ce qui y est dissous et par les microorganismes qu'elle abrite. L'eau « pure » nettoie et purifie ; l'eau souillée tue .une molécule qui oscille entre mortalité et immortalité.

Un peu partout dans le monde, des gens tombent malades. D'autres meurent, surtout les enfants, pour avoir fait confiance à la salubrité d'une eau ou d'un aliment. Parfois, il s'agit d'un simple manque d'hygiène, mais souvent c'est plutôt la dégradation de notre environnement qui en est la cause. Les connaissances et les techniques existent depuis longtemps. Pourtant, les maladies liées à l'eau continuent à faire des ravages. On distingue trois types de maladies liées à l'eau. Les maladies hydriques regroupent toutes les conséquences néfastes d'un contact direct avec de l'eau ou de la nourriture contaminée par des déchets d'origine humaine, animale ou chimique. Empruntant divers parcours, ces déchets atteignent éventuellement les populations qui en souffrent. Les mauvaises habitudes étant difficiles à chasser, la société a montré plus d'une fois qu'elle saisissait mal les limites d'autoépuration de son environnement. Il n'en faut pas plus pour que ces déchets polluent les sols, les eaux de surface et les eaux souterraines, et pour que ces contaminants infectent les populations par l'entremise de l'eau de consommation ou de la nourriture, incluant les problèmes qui émanent de l'utilisation d'eau d'irrigation insalubre. La liste des maladies hydriques est longue : arsénicisme, choléra, diarrhée, hépatite A et E, méningite, poliomyélite et

bien d'autres. Toutes ces maladies découlent de la mauvaise qualité de l'eau. Le bilan de mortalités pour l'ensemble des maladies hydriques est de l'ordre de cinq millions de personnes par année, majoritairement des enfants.

Prenons les maladies diarrhéiques ; ce sont des infections gastro-intestinales causées par divers organismes bactériens, viraux et parasitaires qui foisonnent dans l'eau contaminée. En 2002, 1,8 million de personnes en sont mortes, en très grande majorité des enfants de moins de cinq ans [55]. Et on ne mentionne même pas les conséquences économiques de l'absentéisme au travail pour causes de maladies évitables pour la plupart par l'application de simples mesures d'hygiène comme le lavage des mains et une préparation salubre des aliments.

Le contrôle des maladies hydriques passe par l'accès pour tous à une eau de consommation salubre. Cette nécessité est pourtant refusée à une personne sur six : 1,1 milliard d'individus [67]. Et pour rendre la situation encore plus problématique, le nombre de personnes qui ne bénéficient pas d'un système efficace d'évacuation de leurs eaux usées est estimé à 2,4 milliards. Une situation globale qui ne semble pas près de se résorber, d'autant qu'une eau peut se contaminer lors de sa distribution. C'est d'ailleurs pourquoi de nombreux citoyens ont peu confiance à la salubrité de l'eau courante municipale et préfèrent acheter de l'eau en bouteille. En milieu rural et semi-urbain, les puits constituent souvent la solution d'approvisionnement la plus économique.

L'eau de la nappe phréatique ou libre est facilement accessible et généralement de bonne qualité. Cette source est toute fois à risque de contamination par les eaux de surface attenante, par des toilettes mal conçues ou encore par des puits abandonnés

qui laissent s'infiltrer les contaminants à la surface des sols. Des mesures doivent donc être mises en place localement pour protéger ces sources. Les maladies diarrhéiques ne sont pas l'apanage des pays pauvres. Chaque année, on dénombre environ 4 milliards de cas de diarrhées de par le monde [54]. Les organismes infectieux qui causent la diarrhée sont donc présents sur l'ensemble de la terre. Les populations qui vivent dans les pays développés en sont toutefois mieux protégées puisque les techniques d'assainissement et de protection des zones de captage y sont répandues et que l'eau salubre est à la portée de tous. Les maladies liées à la contamination de l'eau de boisson représentent une charge considérable pour l'humanité [11]. Les maladies hydriques comprennent, entre autres, le choléra, la fièvre typhoïde, la poliomyélite, la méningite, l'hépatite A et E, la diarrhée. Ces maladies sont dues à la mauvaise qualité de l'eau, et la plupart peuvent être évitées si l'eau est traitée avant d'être utilisée. Dans la nature, les micro-organismes abondent dans les eaux souillées par les déjections animales et humaines, et leur transmission à l'homme se fait par simple ingestion d'eau infectée. Ils se propagent donc rapidement dans les régions qui ne disposent pas de bonnes conditions d'hygiène. Certaines bactéries, notamment le colibacille responsable des colibacilloses et le vibrion cholérique responsable du choléra, et certaines amibes par exemple *Entamoeba histolytica*, véritables parasites du corps humain, déclenchent de fortes diarrhées. Lorsqu'aucun soin n'est dispensé, les pertes d'eau provoquées par ces diarrhées peuvent conduire à une déshydratation importante de l'organisme et entraîner la mort. La fièvre typhoïde est due elle aussi à une bactérie, *Salmonella typhi* qui, outre des troubles digestifs, provoque une forte fièvre.

1.5 REVUE DE LA LITTERATURE COMPARABLE AUX OBJECTIFS DE LA THESE

La présente revue de littérature porte sur les facteurs associés à la qualité de l'eau de boisson, et met en relief les relations entre la qualité de l'eau et la santé des populations. Cette étape a permis de relever les déterminants les plus utilisés dans les études qui portent sur la qualité de l'eau de boisson. Plusieurs études ont démontré l'importance des facteurs comportementaux individuels sur la qualité de l'eau de boisson. Ainsi, beaucoup de chercheurs ont observé que le stockage de l'eau dans le ménage mène à une détérioration de la qualité de l'eau à cause de sa recontamination dans la maison. Même si les familles ont une source d'eau de boisson propre, l'eau peut devenir contaminée dans la maison à cause du manque d'hygiène et des pratiques de manipulation d'eau. En effet, la gestion de l'eau de boisson par les ménages est déterminante pour la qualité de l'eau consommée au sein de ceux-ci. Selon Andrew Francis Trevett et *al* [1] dans leur étude sur l'importance de la gestion de la qualité de l'eau de boisson par les ménages dans le contexte de la transmission orale des maladies fécales en Honduras en 2005, la gestion de l'eau de boisson se réfère à la manipulation de l'eau par les ménages, et spécifiquement à la façon dont l'eau est collectée, transportée, stockée et utilisée. Ils ont conclu que la recontamination de l'eau de boisson représente un risque pour la santé en particulier pour les nourrissons, et aussi pour ceux qui ont une immunodéficience secondaire du fait des pratiques de gestion et de traitement qui varient entre les ménages et les

communautés. Andrew F. T. et *al* [1] incriminent les facteurs comportementaux dans la détérioration de la qualité de l'eau de boisson dans les ménages .Il est vrai que les facteurs comportementaux influencent la qualité de l'eau de boisson.

Par ailleurs, Wright J. et *al*. (2004) [17] ont effectué une méta-analyse systématique de 57 études qui ont mesuré des colonies de bactéries de l'eau de source et de l'eau stockée à la maison pour évaluer comment la contamination varie d'une région à une autre et dépend des paramètres communautaires de celles-ci. Ils ont conclu que, en général, la qualité de l'eau de boisson du point de vue bactériologique baisse significativement après le recueil, bien qu'ils aient noté une variabilité considérable des paramètres communautaires dans la mesure de cette contamination après puisage. Ainsi, le stockage et le traitement de l'eau doivent être sécurisés dans les ménages pour éviter cette situation avec un contrôle de qualité de l'eau au point d'utilisation [11]. La meilleure qualité de l'eau de boisson doit être alors fournie à la source pour ainsi minimiser les risques sanitaires.

Une étude menée dans la zone côtière du Ghana par Stephen T. et *al* en 2008 [64] sur les déterminants de la communauté et du ménage qui influencent la qualité de l'eau de boisson, a fait ressortir que les ménages qui disposent des toilettes à chasse ont une contamination faible en *E. coli* comparativement à ceux qui utilisent les latrines à fosse ou n'en disposent pas. Ils ont également conclu que la taille du ménage, les facteurs sociodémographiques et comportementaux sont les déterminants clés de la qualité de l'eau de boisson. Ceci explique le lien entre le niveau d'hygiène dans le ménage et la qualité de l'eau de boisson consommée.

Selon P. Jagals et *al* [96], les pratiques de la communauté dans le stockage et la manipulation de l'eau de boisson conduisent à la détérioration de la qualité microbiologique de celle-ci dans les récipients internes du ménage.

Curtis C. C. et *al* [16] ont mené une étude intitulée:" Fecal contamination of drinking water in a Brazilian shanty town: importance of household storage and new human fecal marker testing ". Cette étude, après avoir déterminé la fréquence de l'eau contaminée et le risque de contamination qu'elle a comparés à la source et aux types de stockage en est arrivée au constat suivant: les eaux de boisson les plus contaminées sont les eaux de puits tandis que la contamination de l'eau de robinet dépend surtout du type de stockage.

Dans une étude menée en milieu urbain (Hyderabad) en Inde, Jayasheel Eshcol et *al* [97], ont observé une augmentation spectaculaire de la contamination de l'eau de boisson stockée dans les ménages.

Suite à leur étude sur: "Perceptions of water, sanitation and health: a case study from the Mekong Delta, Vietnam", S. Herbst et *al* [98] trouvent que les populations évaluent la qualité de l'eau de boisson en fonction de la contamination visible (43%), de la turbidité (18%), de l'odeur (18%) et d'autres facteurs (20%).

Le lavage des mains est considérée comme indispensable par 90% des répondants et pratiqué par 40% avant de préparer la nourriture, 43% avant de manger et 51% après la défécation. Elles évaluent l'eau de rivière comme la source la plus dangereuse à l'origine des maladies hydriques (81%). Par contre, la moitié des répondants ne sont pas conscients de l'importance du lavage des mains comme une mesure préventive contre les maladies diarrhéiques. Ainsi donc, ils concluent que les populations ont

une connaissance de base des comportements d'hygiène appropriée mais méconnaissent encore les relations de cause-effet entre l'hygiène, l'assainissement et les maladies diarrhéiques.

L'importance des facteurs comportementaux et environnementaux dans la qualité de l'eau de boisson dans les ménages a été abordée par les auteurs explorés.

Quant aux facteurs socioculturels, S. Herbst et *al* [98] trouve que les ménages connaissent quelques paramètres physiques de qualité de l'eau de boisson mais ignorent encore les relations de cause-effet qui existent entre l'hygiène, l'assainissement et les maladies diarrhéiques. Cette méconnaissance et le manque d'accès des populations aux sources d'eau protégées expliquent la mortalité élevée dues aux maladies diarrhéiques qui environ 1.8 millions de décès chaque année dans le monde entier dont 90% d'enfants de moins de cinq ans, vivant pour la plupart dans les pays en développement [1]. Selon l'OMS, l'amélioration de la qualité de l'eau de boisson ferait reculer de 6% à 25% la morbidité attribuable aux maladies diarrhéiques et si l'on tient compte des cas graves, l'amélioration des installations sanitaires réduirait de 32% la morbidité due à la diarrhée [3].

Actuellement une série d'action sont menées pour faciliter l'accès à l'eau à toutes les couches à travers la mise en œuvre des OMD visant à réduire de moitié, d'ici à 2015, le pourcentage de la population qui n'a pas accès à un approvisionnement en eau potable ni à des services d'assainissement de base. Au rythme actuel, le monde manquera de plus de 700 millions de personnes la cible de l'Objectif du millénaire pour le développement (OMD) relatif à l'assainissement.

Plusieurs études se sont intéressées à la relation entre exposition à l'arsenic et devenir de la grossesse. Un excès d'avortements spontanés et de mortinatalité, ainsi qu'un taux accru de naissances prématurées ont été rapportés en 2001 au Bangladesh, qui est, avec l'ouest du Bengale, la région du monde la plus touchée par la contamination de l'eau par l'arsenic. Les résultats d'études écologiques conduites au Chili, en Suède, en Hongrie et à Taiwan vont dans le même sens.

Les résultats de toutes les études ne sont pas homogènes, et des études cas-témoins menées aux États-Unis, au Massachusetts et au Texas, ne mettent en évidence qu'une faible association entre l'exposition à l'arsenic et le devenir de la grossesse.

Dans ce contexte, des auteurs australiens et bangladais ont cherché à préciser la relation entre exposition à l'arsenic via l'eau de boisson et la survenue d'avortements spontanés, d'accouchements d'un enfant mort-né et de décès de l'enfant en période néonatale [99]. Les résultats d'une étude menée au Bangladesh, un des pays les plus touchés au monde par la contamination des eaux par l'arsenic, suggèrent que l'exposition chronique à cet agent chimique pourrait augmenter le risque d'avortements spontanés et de mortinatalité [19]. Monjour L. et ses collaborateurs [100] ont abordé l'étude du retentissement, sur la flore fécale pathogène, de l'utilisation d'une eau potable en milieu rural sahélien en 1984. Ils sont arrivés à la conclusion que l'eau, garantie par sa potabilité, paraît donc un facteur essentiel de prévention contre les infections à micro-organismes pathogènes fécaux.

Une étude menée en zone rurale ivoirienne par Charlet F. et Bamory D. en 1985 [101] a fait ressortir l'évolution de la qualité de l'eau entre la pompe et les récipients à domicile. Il a été montré que si l'eau est potable à la source, elle est contaminée au

cours du transport et du stockage. Plusieurs autres études ont essayé d'analyser la qualité de l'eau de boisson et de rechercher les sources de contamination, Molbak K. et ses collaborateurs [102] en 1989, ont trouvé que le degré de contamination de l'eau par des bactéries ayant pour origine les matières fécales humaines ou animales était influencé par la conservation de grandes quantités d'eau potable dans les ménages.

L'étude réalisée par Moukolo N. en 1993 [103,104] dans la plaine de Brazzaville a identifié que les sources de contamination des points d'eau sont les latrines, les fosses septiques, les tas d'immondice, la faible profondeur de la nappe. Baba-Moussa A. [105], quant à lui, dans une étude réalisée en 1994 dans la zone d'Avépozo au Togo, a mis un accent particulier sur la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir des latrines.

Stéphanie Dos Santos et al dans leur étude sur « Accès à l'eau et mortalité des enfants à Ouagadougou (Burkina Faso) » en 2007 ont apporté une contribution sur l'effet statistiquement controversé de l'accès à l'eau sur la survie des enfants, à partir du cas de Ouagadougou, la capitale du Burkina Faso. Pour cette étude, Ouagadougou présente un contexte intéressant. Alors que la quasi-totalité des ménages déclarent une source d'eau potable comme eau de boisson, la morbidité d'origine hydrique reste très élevée [106].

Au Bénin, la question de la qualité de l'eau de boisson a préoccupé différents auteurs. Parmi eux, AISSI M. J. [107] en 1992 a abordé l'étude de l'impact des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. Il est arrivé à la conclusion que les eaux de puits sont contaminées par la mauvaise gestion des déchets solides et liquides provenant des activités humaines. L'étude menée par Kiki

Migan E. L. V. [108], en 1993 à Cotonou sur la problématique de la gestion des déchets dans les mégalopoles africains, a abouti à la conclusion que la mauvaise gestion des déchets est l'un des facteurs influençant la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. En effet la quasi-totalité des eaux des puits prélevés étaient chimiquement et bactériologiquement contaminée.

Comlanvi F. [109], en 1994 en abordant l'étude sur l'amélioration de la qualité de l'eau des puits dans la ville de Cotonou, est arrivée à la conclusion que la quasi totalité de puits prélevés est polluée. Cette pollution serait liée à un certain nombre de facteurs dont essentiellement la nature et la structure du sol, l'insuffisance d'un système d'assainissement adéquat.

Assani A. [110] en 1995 sur la qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo, a abouti à la conclusion que les eaux de tous les puits prélevés sont chimiquement et bactériologiquement contaminés.

Dossa Bertin B. [111] en 2002 à Cotonou sur l'analyse et Esquisse cartographique de la contamination bactériologique de la nappe phréatique alimentant les puits traditionnels de la ville de Cotonou et sa banlieue, a abouti à la conclusion que les eaux de la nappe phréatique sont menacées par :

- une pollution due aux rejets domestiques et industriels ;
- une pollution organique chimique ;
- une pollution bactériologique résultant de l'infiltration par les eaux vannes et de la quasi-inexistence d'ouvrages d'assainissement dans les localités échantillonnées.

Djafarou Assouma I. [112], en 2004 sur la contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la commune de KANDI ; conclut que les eaux souterraines sont généralement exemptes de germes pathogènes, le manque d'hygiène autour des puits d'eau et la mauvaise gestion des ordures pourraient être les sources probables de contamination voire de pollution bactériologique de ces eaux qui malheureusement sont consommées par les populations. D'après ces différents auteurs, le problème de pollution de l'eau n'est pas seulement limité à Cotonou qui est une zone inondable mais à tout le Bénin. Nous devons prendre garde pour trouver à court et à moyen terme des solutions hardies pour éradiquer ce grand fléau qui mine non seulement notre pays mais aussi d'autres pays de la planète terre.

L'eau, ressource naturelle indispensable à la vie, est aussi devenue, de manière directe ou induite, la première cause de mortalité et de maladie au monde. L'inéluctable raréfaction et l'inégalité croissante de la répartition des ressources en eau, conduisent en effet à une inquiétante dégradation de la qualité de l'eau qui a de lourdes conséquences en matière de santé. Ainsi, dans les pays en développement, 80% des maladies sont dues à l'eau, un Africain sur deux souffre d'une maladie hydrique.

Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS)*, chaque année :

- 30 millions de personnes meurent des suites d'une épidémie ou d'une contagion due à la pollution des eaux ;

- 2 millions de personnes, dont la plupart sont des enfants, meurent de maladies diarrhéiques ;
- un million de personnes meurt du paludisme.

Ce constat accablant a mobilisé la communauté des chercheurs qui a identifié plus d'une vingtaine de maladies hydriques, dont les plus meurtrières sont le paludisme, la diarrhée, l'amibiase, la dengue et le choléra. Des solutions sont cherchées dans la direction de l'amélioration de la qualité de l'eau, de l'assainissement et de l'hygiène personnelle qui permettent de réduire considérablement la propagation des maladies associées à l'eau [113].

REFERENCES

1. Organisation Mondiale de la Santé. Liens entre l'eau, l'assainissement, l'hygiène et la santé faits et chiffres - mise à jour de novembre 2004. Genève: OMS; 2004.

2. Kaoruko S, Takehito T, Nguyen K, Quang L, Masafumi W, Tomoko I, Keiko N. Bacterial quality of drinking water stored in containers by boat households in Hue City, Vietnam. Environ Health Prev Med 2008 ; 13:198–206.

3. Organisation Mondiale de la Santé. Célébration de la Décennie Internationale d'action l'Eau Source de Vie : 2005-2015 ; Journée Mondiale de l'eau. Guide de sensibilisation. OMS; 2005.

4. Extrait de Claude Bernard, par René Poirier dans le Crapouillot ; 1958.

5. Monjour. Les pathologies d'origine hydrique et la potabilité de l'eau, Faculté de Médecine Pitié-Salpêtrière – Paris. Les Cahiers du MURS 1997 ; n°33 - 2ème trimestre

6. Tony C, Maude B. L'or bleu - L'eau, nouvel enjeu stratégique et commercial ; 2005.

7. http://www.eausecours.org [Consulté le 25/11/2010]

8. Marie-Line G , Patrick L et Manuel R. Utilisation du service Info-Santé CLSC pour la surveillance syndromique des gastro-entérites d'origine hydrique. Institut national de santé publique du Québec ; 2005.

9. Mayrand K, Morin J F et Paquin M .L'exportation d'eau en vrac : Survol des enjeux juridiques, socioéconomiques et environnementaux ; 2002. http://unisfera.org/ Unisfera_ -_Exp._Eau_ . [Consulté le 25/09/2010].

10. Boadi & Kuitunen. Environment, wealth, inequality and the burden of disease in the Accra metropolitan area, Ghana. Int J Environ Health Res 2005 ; 15: 193-206.

11. World Health Organization. Guidelines for drinking-water quality, vol. 1, 3rd edition, incorporating the 1st and 2nd addenda .Recommendations. Geneva: WHO; 2008.

12. Hoque BA et al. Rural drinking water at supply and household levels: quality and management. Int J Hyg Environ Health 2006; 209: 451–460.

13. Checkley W et al. Effect of water and sanitation on childhood health in a poor Peruvian peri-urban community. Lancet 2004; 363: 112–118.

14. Gundry S et al. A systematic review of the health outcomes related to household water quality in developing countries. J Water Health 2004; 2: 1–13.

15. United Nations. The Millennium Development Goals Report. New York:United Nations Department of Public Information; 2005.

16. Curtis C et al. Fecal contamination of drinking water in a Brazilian shanty town: importance of household storage and new human fecal marker testing. J Water Health 2009; 7: 324-331

17. Wright J, Gundry S, Conroy R. Household drinking water in developing countries: a systematic review of microbiological contamination between source and point-of-use. Trop Med Int Health 2004; 9:106–17.

18. Anctil F. L'eau et ses enjeux, de Boeck ; 2008.

19. Milton AH, Smith W, Rahman B et al. Chronic arsenic exposure and adverse pregnancy outcomes in Bangladesh. Epidemiology 2005; 16: 82-6.

20. Organisation mondiale de la santé (OMS). Directives de qualité pour l'eau de boisson, troisième édition, Volume 1 : Recommandations. OMS; 2004-2006.

21. US Environmental Protection Agency. Drinking Water Contaminants. Available ; 2007. http://www.epa.gov/safewater/contaminants/index.html#primary/ [16/06/2010]

22. Ward MH, deKok TM, Levallois P et al. Workgroup report : Drinking-water nitrate and health Recent findings and research needs. Environ Health Perspect 2005 ; 113 : 1607-14

23. Shrybman, Steven .Water and the GATS: An Assessment of the Impact of Services Disciplines on Public Policy and Law Concerning Water, for The Council of Canadians, Ottawa; 2001.

24. Garthright W E, Archer D L et Kvenberg J E. Estimates of incidence and costs of intestinal infectious diseases. Public Health Rep 1988; 103:107-116

25. Roberts T, Foegeding P M. Risk assessment for estimating the economic costs of food-borne diseases caused by micro-organisms. Elsevier. New York: JA Caswell; 1991: 103-130 p.

26. Fox K R, Lytle D A. Milwaukee's crypto outbreak: investigation and recommendations. J Am Water Works Assoc 1996; 88: 87-94.

27. Leclerc H, Schwartzbrod et Dei-Cas E. Microbial agents associated with waterborne diseases. Crit Rev Microbiol 2002; 28: 371-409.

28. Payment P, Franco E et Siemiatycki J. Absence of relationship between health effects due to tap water consumption and drinking water quality parameters. Wat Sci Tech 1993; 27: 137-143

29. Chauret C, Armstrong N , Fisher J, Sharma R, Springthorpe S et Sattar S. Correlating Cryptosporidium and Giardia with microbial indicators. J Am Water Works Assoc 1995; 87: 76-84.

30. Gouvernement du Québec .Règlement sur la qualité de l'eau potable ; 2001.

31. Prescott, Harley et Klein .Microbiologie. Brown WC. Bruxelles : De Boeck-Wesmael ; 1995 :1014 p.

32. Rodriguez M. Prédiction par réseaux neuronaux d'indicateurs potentiels de gastro-entérites reliées à l'eau potable. *CRSNG* ; 2001.

33. Franco E L. Defining safe drinking water. Epidemiology 1997;8 : 607-609.

34. Marc Laime. Le dossier de l'eau, pénurie, pollution, corruption en France et dans le Monde ; 2007. http://aidesupport.xout.com/ [Consulté le 15 /04/2009].

35. Bartthe C, Penon J. Guide d'interprétation des paramètres microbiologiques d'intérêt dans le domaine de l'eau potable, Ministère de l'environnement du Québec ; 1998: 155 p+annexes.

36. Centre D'expertise en Analyse Environnementale du Québec. Recherche et dénombrement des coliformes fécaux (thermotolérants) et confirmation à l'espèce *Escherichia coli* : méthode par filtration sur membrane. MA. 700 Fec.Ec 1.0, Rév 2, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec ; 2005 : 20 p.

37. Centre d'expertise en analyse environnementale du québec. Recherche et dénombrement des entérocoques : méthode par filtration sur membrane, MA. 700 Ent 1.0, Rév 3, Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec ; 2006 : 23 p.

38. Boukari m et al. Identification des aquifères de la zone littorale du Bénin, (Afrique de l'ouest) : Hydrodynamique, Hydrochimie et problèmes d'alimentation en eau de la ville de Cotonou. In Africa Geosciences Review 1995; 2: 121 – 13

39. Debreuil C. Le droit à l'eau : du concept à la mise en œuvre ; conseil mondial de l'Eau ; 2006.

40. Anato L. Approvisionnement en eau potable et assainissement de base dans la Commune urbaine de Comè en République du Bénin. Mémoire en santé publique. CRDS, Cotonou ; 1983 : 84 p.

41. Boukari M. Fonctionnement du système aquifère exploité pour l'approvisionnement en eau de la ville de Cotonou sur le littoral béninois : Impact du développement urbain sur la qualité des ressources. Thèse d'état es sciences, UCAD de Dakar et Université National du Bénin ; 1998 : 277 p + annexes.

42. Goudrian, Hall, Jan-Willem and David. Private Water Firms Rife with Corruption, in Canadian Centre for Policy Alternatives, Monitor; 1997.

43. http://www.santecom.qc.ca [Consulté le 20/10/2010]

44. Public Services International Briefing, Financing Water-Distortions and Prejudice, for the World Water Forum, The Hague; 2000.

45. Hagan L, Morin D et Lépine R. Évaluation provinciale des services Info-Santé. CLSC, Université Laval ; 1998 : 163 p.

46. L'eau : un droit vital, fondamental de l'être humain mais une ressource qui s'épuise et un enjeu du 21ème siècle. Journée mondiale de l'eau 2009. http://www.deltgo.ec.europa.eu.[Consulté le 22/08/2010].

47. Annette P et al. Estimating the Burden of Disease from Water, Sanitation, and Hygiene at a Global Level. Environmental Health Perspectives 2002; 110 : 537-542

48. Journée mondiale de l'eau. L'eau : un droit vital, fondamental de l'être humain mais une ressource qui s'épuise et un enjeu du 21ème siècle ; 2009.

49. Environnement Canada. Menaces pour les sources d'eau potable et les écosystèmes au Canada. Institut national de recherche sur les eaux, Burlington (Ontario). Série de rapports d'évaluation scientifique de l'INRE; rapport n° 1 ; 2001.

50. Comite Directeur Inter Institution de Cooperation pour la Decennie. Impact de la DIEPA de l'eau potable et de l'assainissement sur les maladies diarrhéiques, Genève, OMS ; 1990 :17 p.

51. Chuzeville B, Plomb D. Traitement d'un forage fortement pollué dans la région de Koudougou au Burkina-Faso Bulletin de liaison du CIEH, n°90 ; 1992 : pp 27 - 35.

52. Nauciel C, Vilde JL. Bactériologie médicale. 2eédition . Paris : Edition Masson ; 2008 : 288 p.

53. Dégbey C, Makoutode M, Fayomi B, De Brouwer C. La qualité de l'eau de boisson en milieu professionnel à Godomey en 2009 au Bénin Afrique de l'Ouest. J Int Santé Trav 2010 ; 1 : 1-8

54. Organisation mondiale de la santé.Water and Sanitation Related Diseases Fact Sheets.http://www.who.int/water_sanitation_health/diseases/diseasefact/en/index.htm; 2006. [Consulté le 16/06/2010].

55. Unesco. L'eau une responsabilité partagée. 2eRapport Mondial des Nations unies sur la mise en valeur des ressources en eau, Paris, France ; 2006 : 584 p.

56. La crise de l'eau dans le monde et la transformation de l'eau en marchandise Version révisée Printemps par Maude Barlow, Présidente canadienne, Conseil des Canadiens, Comité sur la mondialisation de l'eau, IFG ; 2001.

57. Topfer, Klaus. Executive Director, United Nations Environment Program, Presentation to the International Conference on Water and Sustainable Development, Paris; 1998.

58. Low KS. In Water quality management. Publication 1995; n°5.

59. Baba Moussa A. Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir des latrines en Afrique subéquatoriale. Thèse de doctorat ès sciences techniques. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL ; 1994 : 252 p.

60. Groupe Scientifique sur L'eau. Coliformes fécaux : Fiches synthèses sur l'eau potable et la santé humaine. Institut National de Santé Publique du Québec ; 2003.

61. Societé Nationale des Eaux du Benin (SONEB). Programme d'investissement pour l'approvisionnement en eau potable de la ville de Cotonou. Rapport provisoire .Ministère de l'Energie et de l'Eau ; 2006.

62. Boadi & Kuitunen. Childhood diarrhoeal morbidity in the Accra Metropolitan Area,Ghana: Socio-economic, environmental and behavioral risk determinants. J Health Popul Dev Countries 2005; 7: 1–13.

63. Ministère de la Santé du Bénin. Disponibilité des services communautaires Enquête Démographique et de Santé : Equipements des communautés. Cotonou: MS; 2006.

64. McGarvey S T et al. Community and household determinants of water quality in coastal Ghana. Journal of Water and Health 2008; 6 : 339-349

65. Boyer M, Michel P. La gestion déléguée de l'eau : les enjeux Montréal : Cirano ; 1999 : 52 p

66. Jacques L , Mercier M . Les maladies entériques et la qualité de l'eau des bassins hydrographiques de la Montérégie. Direction de la santé publique, régie régionale de la santé des services sociaux de la Monté régie Québec ; 2004 : 124 p +annexes

67. Organisation mondiale de la santé (OMS). L'eau pour les hommes, l'eau pour la vie. Paris : UNESCO-WWAP ; 2003.

68. Yapo OB, Mambo V et al. Evaluation de la qualité des eaux de puits à usage domestique dans les quartiers défavorisés quatre communes d'Abidjan (Côte d'Ivoire): Koumassi, Marcory, Port-bouet et Treichville. Int J Biol Chem Sci 2010 ; 4 : 289-307.

69. Bénin. Ministère de la santé. Direction de la programmation et de la prospective. Service des statistiques et de la documentation. Annuaire des statistiques sanitaires. Cotonou : Ministère de la santé ; 2006.

70. Hounsou M B, Agbossou E K, Akponikpe I, Ahamide B. Qualité bactériologique de l'eau du bassin de l'Ouémé: cas des coliformes totaux et fécaux dans les retenues d'eau de l'Okpara, de Djougou et de Savalou au Bénin. Int J Biol Chem Sci 2010 ; 4 : 377-390.

71. Dégbey C. La qualité de l'eau de puits dans la commune d'Abomey-Calavi et les facteurs exogènes de sa pollution. Mémoire de DEA, N° 111/EDP/GEN/UAC ; 2005.

72. Ministère de l'Energie, des Mines et de l'Hydraulique. Atelier sur le développement des systèmes de surveillance en matière d'Eau potable et assainissement. Cotonou, Bénin ; 2005.

73. Adanhoume K. Pollution des sols des eaux superficielles et souterraines par les engrais chimiques. Possibilité de lutte contre une telle pollution dans le sud de la République du Bénin. Mémoire de DEA, FLASH, UAC ; 2000 : 106 p + annexes.

74. Adjamonsi P. Qualité de l'eau de puits et problèmes de santé à Cotonou. Mémoire de maîtrise, UNB, Abomey-Calavi ; 1994 : 107 p + annexes

75. Ministère de l'Energie et de l'Eau (MEE).Direction Commerciale et de la Clientèle (DCC)/ Société nationale des Eaux du Bénin (SONEB). Données PPDE actualisées en novembre. Cotonou : SONEB ; 2008.

76. Dégbey C, Makoutodé M, De Brouwer C. Health problems are also linked to endemic profile. British Medical Journal (BMJ). Electronic letters 2010.

77. Atidegla CS, Agbossou K E. Pollutions chimique et bactériologique des eaux souterraines des exploitations maraîchères irriguées de la commune de Grand-Popo : cas des nitrates et bactéries fécales. Int J Biol Chem Sci 2010 ; 4 : 327-337.

78. Anta T D. Qualité de l'eau de consommation des ménages : analyse et plan d'action en zone rurale sénégalaise. Santé publique 2010 ; 22 : 193-200.

79. Daphne P. Division des productions animales/ MAAO ; Wayne Merrit/ Ministère de l'environnement ; 1991.

80. Edberg S C, Leclerc H, and Robertson J. Natural protection of spring and well Drinking water against surface Microbial contamination. Indicator and monitoring parameters for parasites. Critical Reviews in microbiology 1997; 23: 179-206

81. WHO safer water, better health. Norme CCE de l'eau; 2008.

82. Décret N°2001-094 fixant les normes de qualité de l'eau potable en République du Bénin ; 2001.

83. Maslow J N, Mulligan M E and Arbeit R D. Molecular Epidemiology: Application of contemporary techniques to the typing, of Microorganisms. Clin Infect Dis 1993 ; 17 : 153-164.

84. Grimont P A D et Grimont F. Apport de la biologie moléculaire au typage : données méthodologiques. Méd Mal infect 1996 ; 26 : 379-385 .

85. Bingen E, Kurkdjian P M, Zechovsky N Y L , Desjardins P, Denamur E, Aujard Y and al. Ribotyping provides Efficient Differentiation of nosocomial Serratia marcescens isolates in a pediatric Hospital. J Clin Microbiol 1992; 30 : 2088-2091.

86. Bingen E, Denamur E and Elion J. Use of ribotyping in epidemiological surveillance of nosocomial outbreaks. Clin Microbiol Rev 1994; 7: 311-327.

87. Grundmann H, schneider C, Hartung D, Daschnes F D and pitt TL. Discriminatory Power of threc DNA-Based typing, techniques for Pseudomonas aeruginosa. J Clin Microbiol 1995; 33: 528-534.

88. Esteban E, Sniles K , Hird D , Kasten R and Kinde H. Use of Ribotyping of characterization of Salmonella Serotypes. J Clin Microbiol 1993 ; 31 : 233-237.

89. Schwartz D C and Cantor C R. Separation of yeast chromosom-sized DNAs by pulsed field gradient gel electrophoresis. Cell 1984 ; 37 : 67-75.

90. Kaplan J C et Delpech M. Biologie moléculaire et Médecine. Médecine-sciences, 2ème Ed ; 1995 : 552 -651p.

91. Bingen E, Boissinot C, Desjardin P, Cave H, Brahim N, Zechovsky N L and al Arbitrarily Primed polymerase chain reaction provides Rapid Differenciation of Proteus mirabilis isolates from a pediatric Hospital. J Clin Microbiol 1995; 31 : 1055-1059.

92. Gori A, Espinase F, Deplano A , Nonhoff C, Nicolas M H and Struelens M J. Comparaison of pulsed-fiel gel clectrophoresis and randomly amplified DNA polymorphism analysis for typing Extended-spectrum-B-lactamase producing, Klebsiella pneumoniae. J Clin Microbiol 1996; 34: 2448-2453.

93. Lin A W, Usera M A , Barett T J and Goldsby R A. Application of random amplified polymorphic DNA analysis to differentiate strain of Salmonella enteritidis. J Clin Microbiol 1996; 34 : 870-876.

94. Niederhauser ch , Hofefein ch , Allmann M , Bur halter P, luthy J and Candrian U. Random amplification of polymorphic bacterial DNA : évaluation of 11 oligonucleotides and application to food contaminated with listeria monocytogenes. J appl Bacteriol 1994; 77 : 574-582.

95. Bingen E, Bark M C, Brahimi N, Vilmer E and Beaufils F. Randomly Amplified polymorphic DNA analysis provides rapid differentiation of methicillin-resistant coaculase-negative staphylococcies bacteremia isolates in pediatric hospital. J Clin Microbiol 1995; 33 : 1654-1659.

96. Jagals P, Nala NP, Tsubane TJ, Moabi M, Motaung KC. Measuring changes in water-related health and hygiene practices by developing-community households. Water Sci Technol 2004; 50:91–7.

97. Jayasheel E et al. Is fecal contamination of drinking water after collection associated with household water handling and hygienepractices? A study of urban slum households in Hyderabad, India. Journal of water and health 2009; 7: 145-154.

98. Herbst S et al. Perceptions of water, sanitation and health: a case study from the Mekong Delta, Vietnam. Water Science & Technology—WST2009 60 : 699–707

99. Ahsan H, Chen Y, Parvez F et al. Arsenic exposure from drinking water and risk of premalignant skin lesions in Bangladesh : Baseline results from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study. Am J Epidemiol 2006 : 163 : 1138-48.

100. Monjour L, Bourdillon F, Martin A et al. Retentissement sur la flore fécale pathogène de l'utilisation d'une eau potable en milieu rural sahélien. Bulletin de société et de pathologie exotique 1984 ; 77 : 175- 181.

101. Charlet F, Bamory D. Expérimentation de solution en vue d'améliorer la qualité de l'eau à domicile en milieu rural, In villand M. C. – eau et santé Abidjan INSP, SNES ; 1985 : 85 – 88p.

102. Molbak K, Hojlyng N, Jepson S. Bacterial contamination of stored water and stored ford: a potential source of diarrhoel in west Africa. Epidemiol Infect 1989; 102: 309 -326.

103. Bissonnet P, Salzman V, Monjour L. Application d'un nouveau matériel de transport et de stockage pour l'amélioration de la qualité de l'eau de boisson en milieu rural africain. Bulletin de Société et de Pathologie Exotique 1992 ; 85 : 390-394.

104. Organisation Mondiale de la santé (OMS). Directives de qualité pour l'eau de boisson : Contrôle de la qualité de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités ; 1986 : 121 P.

105. Baba-Moussa A. Etude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrines en Afrique subéquatoriale. Thèse de doctorat ès-sciences techniques. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL ; 1994 : 252 p.

106. Dos Santos S et al. « Accès à l'eau et mortalité des enfants à Ouagadougou (Burkina Faso) ». Environnement, Risques & Santé 2007 ; 6 :365-71.

107. Aissi M J. Impacts des déchets domestiques sur la qualité de la nappe phréatique à Cotonou. Mémoire de fin de formation DETS, CPU, UNB ; 1992 : 69 p.

108. Kiki M E L. La problématique de la gestion des déchets dans les mégalopoles africaines et perspectives d'avenir : cas de la ville de Cotonou. Thèse de médecine FSS UNB ; 1993 : 90 p.

109 Comlanvi FM. Amélioration de la qualité des eaux de puits dans la ville de Cotonou : Cas de quelques quartiers. Mémoire de fin de formation DIT, Aménagement, protection de l'environnement, CPU, UNB ; 1994 : 78 p.

110. Assani A. Qualité et mode de gestion de l'eau de boisson dans la sous-préfecture de Grand-Popo. Mémoire de maîtrise en santé publique, IRSP, UNB ; 1995 : 129 p + annexes

111. Dossa B. Analyse et Esquisse cartographique de la contamination bactériologique de la nappe phréatique alimentant les puits traditionnels de la ville de Cotonou et sa banlieue. Mémoire de DESS, FAST, UAC ; 2002 : 81 p.

112. Djafarou A. La contribution à l'évaluation des risques liés aux usages domestiques de l'eau dans la commune de KANDI. Mémoire de DESS, IMSP ; 2004 :69 p.

113. Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Sommet mondial pour le développement durable. Johannesburg ; 2002.