

INTRODUCTION

L'extension progressive des villes, alliée à une industrialisation croissante, l'exploitation des ressources énergétiques et l'augmentation constante de la productivité agricole sont autant de facteurs contribuant directement ou indirectement à la modification et à la destruction des écosystèmes à travers le monde. Les émissions de substances, la production de déchets et les nuisances diverses (sonores, lumineuses, thermiques) constituent une cause de la dégradation de l'Environnement principalement dans les pays en développement.

De nombreuses conférences internationales ont examiné et approuvé les mesures requises pour la préservation de l'Environnement. Ces rencontres internationales ont recensé plusieurs problèmes et défis fondamentaux dans le domaine de l'eau en privilégiant de plus en plus l'assainissement dans le souci d'assurer un développement durable dans les pays en développement.

En Afrique, le phénomène de la croissance démographique s'est accompagné d'une brusque accélération de l'urbanisation aboutissant à une augmentation de rejets d'effluents.

Au Sénégal, l'augmentation des rejets d'effluents très divers dans les milieux récepteurs a eu des effets indésirables sur les différentes composantes de l'environnement. La recherche d'un essor économique durable intègre mal l'importance socio-économique de la protection de l'environnement naturel et de la qualité de vie des populations. La lutte contre la pollution des eaux ne dispose encore que peu de moyens et le retard en matière d'épuration des eaux usées domestiques et urbaines est notable.

Les eaux usées renferment différentes formes de pollution que sont la pollution primaire ou physique, la pollution secondaire ou organique, pollution tertiaire minérale et la pollution quaternaire ou biologique. Ce dernier type de pollution est connu sous le nom de péril fécal puisqu'elle correspond aux pollutions virales, bactériennes et parasitaires.

Les microorganismes qui constituent la pollution biologique et véhiculés par les eaux usées sont susceptibles de porter atteinte à la salubrité de certains usages ou activités installés dans les milieux récepteurs. Parmi ces microorganismes rejetés par les apports domestiques, certains représentent un risque pour la santé humaine (*Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio* etc.).

Avant leur rejet dans le milieu récepteur naturel, les effluents doivent répondre à des exigences de qualité. Ces critères sont déterminés grâce à une série d'analyses physico-chimiques et microbiologiques.

L'identification et le dénombrement de tous les germes pathogènes dans les eaux usées nécessitent des analyses techniquement et financièrement irréalisables. C'est ainsi que la notion de "germes indicateurs de pollution fécale" a été introduite pour apprécier le risque d'origine microbiologique lié aux eaux d'alimentation et aux eaux usées traitées.

L'apparition progressive de maladies liées à l'eau, même avec des rejets répondant aux normes de salubrité, fait prendre conscience au monde scientifique de la limite de ces indicateurs. En effet, certaines bactéries résistent plus longtemps que d'autres dans le milieu extérieur (KOUNDI A., 2002.) Pour pallier ce manque de précision des indicateurs, des recherches ont été entreprises ces dernières années.

Au Sénégal, la réglementation considère plusieurs paramètres dans la définition de la conformité des eaux de rejet, dont deux constituent des indicateurs de pollution fécale (Coliformes fécaux, Streptocoques fécaux). Ils peuvent être associés à la recherche de germes spécifiques comme les Salmonelles, les Shigelles et les Vibrions cholériques.

En effet, le sort des microorganismes diverge dans le milieu hydrique, sous l'influence de très nombreux facteurs, telles que les conditions de vie (substances nutritives, état physico-chimique, concurrence microbienne...) dans les milieux naturels et les interventions humaines. Les traitements mis en œuvre

avant les rejets d'eaux usées (utilisation de désinfectants) sont également des facteurs déterminants (KOUNDI A., 2002).

L'influence de ces nombreux facteurs externes sur la croissance bactérienne nous pousse à nous intéresser à l'évaluation microbiologique de la qualité des effluents aux différents niveaux de traitements à la station d'épuration de Cambérène.

Nous avons également tenté de vérifier l'éventualité d'une corrélation entre indicateurs de pollution fécale et les germes pathogènes (Salmonelles, les Shigelles et les Vibrions cholériques).

Ainsi, pour mener à bien cette étude, nous avons entrepris ce travail à la station d'épuration des eaux de Cambérène.

L'objectif général est de dénombrer les germes indicateurs de pollution fécale à différents niveaux.

Les objectifs spécifiques sont:

- identifier les germes pathogènes présents ;
- étudier les éventuelles relations entre germes indicateurs de pollution et germes pathogènes ;

Pour atteindre ces objectifs, notre travail se fera en trois parties

- Une première partie consacrée à la revue de la littérature sur les germes indicateurs et pathogènes et sur l'organisation du secteur de l'eau et le traitement des eaux usées.
- Une deuxième partie consacrée aux matériels et méthodes.
- Une troisième partie consacrée aux principaux résultats et discussions.

Enfin, une dernière partie sera réservée à la conclusion et aux perspectives.

PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA LITTERATURE

1. Généralités

Dans un contexte de cycles successifs de sécheresse, de développement urbain anarchique, associés à une conjoncture économique et agricole peu favorable, les services publics des grandes villes du Sénégal ont vite montré leurs limites. Cela a entraîné la dégradation du niveau de vie des populations et de la qualité de l'Environnement. L'augmentation du volume des eaux usées liée à la croissance urbaine pose ainsi un véritable problème d'assainissement.

Aussi, la gestion des eaux usées dans les grands centres urbains constitue un des défis majeurs à relever dans les programmes de gestion urbaine des municipalités. En effet, la gestion des eaux résiduaires qui comprend la collecte des eaux usées depuis les lieux de production jusqu'à leur traitement avant rejet nécessite des dépenses considérables.

Selon une étude menée en 1994 par l'Agence japonaise de coopération .cité par GAYE M. (GAYE M. et NIANG S. 2002.), sur 120 000 m³ d'eaux usées produites par jour par la ville de Dakar (Dakar et Pikine), seulement 37 % sont collectés par un réseau d'assainissement.

Par ailleurs, une intégration de l'assainissement dans une perspective de développement serait d'envisager la réutilisation des eaux usées traitées comme ressources exploitables dans l'agriculture urbaine dans les pays arides. Selon toujours la même étude menée par JICA et MH, la réutilisation des eaux traitées (figures 1-5,) pour l'arrosage des espaces verts et par les agriculteurs pourrait permettre de réaliser des économies en eau et en intrants.



Figure 1 : Espace vert à l'ONAS, arrosé avec des effluents traités **Figure 2** Pompage et utilisation des eaux traitées, par un fleuriste.

(Photos DIENG M, Mai 2007)

Selon le « *green keeper* » (responsable de l'espace vert) du terrain de golf dans le technopôle de Dakar, l'utilisation des effluents qui proviennent de la STEP de Cambérène pour l'arrosage des terrains (figure 3), leur donne une entière satisfaction. Selon toujours la même source, depuis presque un an, l'utilisation de l'eau salée provenant des lacs voisins, du fait de la rupture de leur contrat avec l'ONAS, freine le développement du gazon. Il exprime le souhait de la réussite des négociations entre les responsables de l'ONAS et le Président du golf club de Dakar.



Figure 3 : Espace vert au terrain de golf arrosé avec des effluents traités
(Photos DIENG M, Mai 2007)

Interrogés sur les éventuels risques sanitaires encourus sur l'utilisation des effluents traités, tous nos interlocuteurs avouent avoir pris conscience de la non potabilité de l'eau et par conséquent, prennent des mesures de protection.

Au terrain de golf, le système d'arrosage est assuré par des appareils aspergeurs automatiques (figure 4). Quant aux maraîchers, l'utilisation d'arrosoirs les expose aux principaux risques que peuvent engendrer les effluents mal traités.



Figure 4 : Appareil aspergeur au terrain de golf dans le technopôle

(Photos DIENG M, Mai 2007)

Cependant, force est de constater l'existence des risques de contamination et de propagation de maladies au niveau des populations.

Dans le cadre de ses travaux de 1995, NIANG S. (NIANG S. 1995) a souligné que même si elles comblent le déficit en eau et en intrants (engrais et produits phytosanitaires), les eaux usées de par leur mode d'utilisation le plus répandu (aspersion par arrosoir), sont responsables de la détérioration de la qualité sanitaire des récoltes. En effet, un examen de produits fraîchement récoltés et prêts à la vente a montré chez les maraîchers qui utilisent des eaux usées, une contamination des récoltes par des microorganismes de diverses natures (figure 5)



Figure 5 : Laitue (salade) arrosée par des eaux usées brutes

(Photos DIENG M, Mai 2007)

L'auteur rapporte que des cas concrets de foyers épidémiologiques imputables à cette pratique peuvent être cités à travers le monde. En 1987, une épidémie de fièvre typhoïde et paratyphoïde A et B s'était déclarée dans la région de Dakar, où 400 cas étaient recensés. En 1992, FALL C. (FALL C. et al., 1992) ont cité des résultats d'enquêtes épidémiologiques qui révèlent que les responsables de la contamination étaient les maraîchers qui utilisaient des eaux insuffisamment (ou pas du tout) traitées pour arroser leurs légumes. Un risque sanitaire par contamination directe ou indirecte liée à la survivance de germes pathogènes de toutes sortes dans le milieu (bactéries, virus zoo parasites,) constitue ainsi un véritable danger environnemental et sanitaire.

Les eaux résiduaires urbaines contiennent de fortes concentrations d'agents pathogènes. (FAECHEM R. G. et al, 1983 cités par DIOP B. S.) (DIOP B. S. 2002). Selon une étude menée par DIOP B. S., dans les pays en développement, la plupart des maladies responsables de la morbidité générale et de la mortalité infantile sont dues à cette contamination : gastro-entérites, typhus, choléra, poliomyélite, hépatites, etc. (DIOP B. S.)

Parce que les germes pathogènes sont rares et difficiles à quantifier, ce sont les coliformes fécaux, notamment *Escherichia coli*, qui ont été utilisés dans toutes les études épidémiologiques importantes. Les premières études épidémiologiques rendues publiques en Amérique du Nord ont été effectuées par le U.S. Public Health Service. Ces études ont été faites sur deux sites d'eau douce au bord du lac Michigan et de la rivière Ohio et sur deux sites d'eau de mer. Sur ces deux derniers, ainsi que sur celui du lac Michigan, on n'a pas

observé de cas de gastro-entérites d'origine hydrique. L'étude portant sur la rivière Ohio a toutefois montré une augmentation de l'incidence des affections gastro-intestinales à des densités médianes de coliformes d'environ 2300/100 mL. Les données recueillies par la suite au bord de la rivière Ohio pendant les années 1960 ont fait apparaître qu'un niveau de 400 coliformes fécaux était approximativement équivalent au seuil de 2300 coliformes totaux (GELDREICH E. E., 1970). Après application d'un facteur de sécurité, on a établi une recommandation de 200 coliformes fécaux/100 mL.

Aussi, parle-t-on de dépollution des eaux usées dans le but de diminuer les charges en polluants.

La dépollution des eaux usées domestiques nécessite une succession d'étapes faisant appel à des traitements, physico-chimiques et biologiques. Elle doit permettre, au minimum, d'éliminer la majeure partie de la pollution carbonée. Selon le degré d'élimination de la pollution et les procédés mis en œuvre, trois niveaux de traitements sont définis :

Le prétraitement consiste à débarrasser les eaux usées des polluants solides les plus grossiers (dégrillage, dégraissage). Ce sont de simples étapes de séparation physique.

Le traitement primaire qui regroupe les procédés physiques ou physico-chimiques vise à éliminer par décantation et par flottation une forte proportion de matières minérales ou organiques en suspension. Le traitement primaire ne permet d'obtenir qu'une épuration partielle des eaux usées.

Le traitement secondaire recouvre les techniques d'élimination des matières organiques solubles. Il constitue un premier niveau de traitement biologique. Le traitement secondaire est donc désormais le niveau minimal de traitement qui doit être mis en œuvre dans les usines de dépollution.

Dans certains cas, le traitement tertiaire est nécessaire, notamment lorsque l'eau épurée doit être rejetée en milieu particulièrement sensible. A titre d'illustration, les rejets dans les eaux de baignade, dans des lacs souffrant d'un phénomène d'eutrophisation ou dans des zones d'élevage de coquillages sont

concernés par ce troisième niveau de traitement. Le traitement tertiaire peut également comprendre la désinfection. La réduction des odeurs peut encore être l'objet d'attention particulière. Selon l'Encyclopédie *Wikipédia* (2005), l'épuration des eaux est un ensemble de techniques qui consistent à purifier les eaux usées soit pour les recycler dans le milieu naturel, soit pour les transformer en eau potable. Il existe deux méthodes principales d'épuration des eaux, qu'il s'agisse d'eaux usées ou d'eau potable : les filières biologiques et les filières physico-chimiques.

Les filières biologiques font appel aux micro-organismes naturellement présents dans le milieu naturel pour dégrader la pollution. L'apport d'oxygène peut être naturel (le vent) dans les petites installations de lagunage, ou artificiel (turbines par exemple) dans les stations d'épuration de type "boues activées". Les bactéries peuvent être libres (boue activée, lagunage) ou fixées (lit bactérien)

Les filières physico-chimiques utilisent des moyens physiques (décantation, floculation, filtres et membranes) et/ou des produits chimiques, notamment des coagulants (chlorure ferrique, sulfate d'aluminium...) et des floculants. On les utilise pour certains effluents industriels (toxiques) ou lorsque l'on doit gérer des variations rapides de flux à traiter (cas des stations d'épuration de communes touristiques, ou lorsqu'avec un réseau unitaire on veut faire face à l'arrivée d'eau de pluie).

Pour l'évaluation de la qualité des eaux de rejet, le suivi porte essentiellement sur la pollution physique, chimique et bactériologique engendrée par les eaux usées. Cette pollution présente, en effet, le risque de dissémination de germes pathogènes, susceptibles d'entraîner des maladies. Toutefois, la détection directe des germes pathogènes dans l'eau est difficile, en raison de contraintes analytiques. C'est pourquoi, la surveillance porte sur des germes non pathogènes mais indicateurs de contaminations fécales (coliformes, streptocoques).

Le Sénégal est aujourd'hui confronté à de réelles difficultés socio-économiques, dues en partie au manque d'eau et à la sous utilisation des eaux usées traitées et recyclées. Pour la seule région de Dakar, plus de 120.000 m³ d'eaux usées sont rejetées chaque jour en mer sans traitement (ASN, 2002). Ceci constitue non seulement une perte d'eaux parce qu'elles auraient pu être recyclées, et réutilisées notamment pour le maraîchage, le reboisement, le développement de la pisciculture mais elle est aussi une source de pollution des eaux marines où le rejet est fait sans traitement préalable.

La publication du décret d'application de la loi « N° 2001-01 du 15 janvier 2001 portant code de l'Environnement » entend pallier les difficultés et carences afin de mieux protéger l'environnement qui est la base de tout développement économique durable.

Le décret fait ressortir trois chapitres traitant successivement des dispositions générales faisant l'objet d'un certain nombre de définitions et d'indications sur les différentes voies d'évacuation des effluents, des dispositions applicables aux rejets d'effluents dans les différentes voies d'évacuation, des dispositions concernant la surveillance et le contrôle des rejets d'effluents. A cet effet, le décret présente les innovations suivantes: (tableau 1, page 13)

- il réglemente, pour la première fois au Sénégal, les pollutions causées par des rejets d'eaux résiduaires.

- il réglemente ensuite l'exigence pour toutes les industries d'opérer un traitement préalable des eaux résiduaires avant tout rejet. Il en est de même pour l'évacuation des eaux domestiques gérées par les structures étatiques ou les collectivités locales.

Une surveillance et un contrôle de ces rejets sont assurés par les agents assermentés de la Direction de l'environnement ou tout autre agent compétent en la matière;

Les exploitants d'installations classées, qui sont autorisés à rejeter des substances visées ci-dessus, doivent adresser chaque année à la Direction de

l'Environnement et des Etablissements classés un dossier faisant le bilan des rejets. Le bilan comprend entre autre :

- les quantités de flux rejetés;
- les concentrations des polluants dans les rejets;
- les rejets spécifiques par rapport aux quantités mises en œuvre dans l'installation.

Ce dossier doit faire apparaître l'évolution de ces rejets et les possibilités de les réduire.

Tableau I: Paramètres microbiologiques de la qualité de l'effluent en fonction de son milieu récepteur. (*Source ASN 2002*)

Paramètres	Unités	Domaine Public maritime	Domaine public hydraulique
-Coliformes Fécaux	100 ml	2000	2000
-Streptocoques Fécaux	100 ml	1000	1000
- Salmonelles	5 000 ml	Absence	Absence
-Vibrions cholériques	5 000 ml	Absence	Absence

La norme 05-061 du code de l'environnement s'applique aux rejets des eaux usées dans les limites territoriales du Sénégal, sur des milieux récepteurs tels que les eaux de surface, les eaux souterraines ou les eaux marines. Elle prévoit une législation particulière pour les milieux sensibles et intègre ainsi la possibilité d'introduire des valeurs plus sévères pour ces milieux. Excepté l'Azote, aucun pourcentage de réduction des formes de pollution domestique n'a été défini. Cela aurait l'avantage, avec des eaux usées à fortes charges, de tenir compte de l'effort d'épuration à faire par la communauté pour l'élimination de la pollution. Cela nécessite néanmoins des moyens matériels et financiers très

élevés comme le montre une étude de MBEGUERE MB. en 2002 qui mentionne que: « *Les technologies conventionnelles qui équipent les stations classiques sont bien maîtrisées. Cependant, malgré les bonnes performances épuratoires dont elles sont capables, leur coût en investissement et en fonctionnement est très élevé et est souvent hors de portée des pays en développement* » (MBEGUERE MB. 2002).

2. L'organisation du secteur de l'Eau au Sénégal

2.1. Les aspects institutionnels

Pour assurer le Développement harmonieux de l'hydraulique urbaine et de l'Assainissement, L'Etat du Sénégal a procédé en 1995, à la réforme institutionnelle de ce secteur. La Société Nationale d'Exploitation des Eaux du Sénégal (SONEES) qui avait en charge la totalité du secteur de l'Hydraulique Urbaine, a ainsi été scindé en trois entités :

- Le service public de l'Hydraulique Urbaine est confié à deux sociétés :
 - . Une pour le patrimoine (SONES)
 - . Une pour l'Exploitation (SDE)
- Le Service public de l'Assainissement est quant à lui géré par un office national (ONAS)

La SONES (Société Nationale des Eaux du Sénégal) est une société de patrimoine qui a pour mission la réalisation de l'ensemble des infrastructures et ouvrages nécessaires au captage, à la production, au transport et à la distribution d'eau potable, ainsi que le contrôle de la qualité de l'exploitation du service public de la production et de la distribution d'eau potable.

La SDE (Sénégalaise des eaux) est une société privée d'exploitation chargée de la production et de la distribution de l'eau en zone urbaine et péri-urbaine, de l'entretien et du renouvellement du réseau, de la politique commerciale et du recouvrement.

L'ONAS (Office National de l'Assainissement du Sénégal) est un organisme public chargé de la collecte, du traitement, de la valorisation et de l'Evacuation des eaux usées et des eaux pluviales en zones urbaines et péri-urbaines.

2.2. Les aspects législatifs et réglementaires

Le statut juridique des eaux a été institué progressivement au Sénégal dans le souci de protéger l'Environnement et la santé des populations. La législation sénégalaise a élaboré un cadre juridique qui régit, entre autres, l'usage des ressources en eau au Sénégal ainsi que leur protection. Plusieurs textes ont été adoptés à cet effet, Il s'agit principalement de trois codes : le Code de l'Eau, le Code de l'Hygiène et le Code de l'Environnement.

Déjà en 1981, un arsenal juridique dans le domaine de l'eau commençait à voir le jour avec la loi n° 81-13 du 04 mars 1981 portant Code de l'Eau. Cette loi s'applique aux eaux non maritimes et aux travaux hydrauliques. Elle concerne, entre autres, la gestion des eaux de surface, la protection de la qualité de l'eau, les différents usages de l'eau et l'ordre de priorité d'utilisation. Elle comprend un certain nombre de dispositions applicables aux différents types d'utilisation des eaux usées et de règles et autorisations concernant les activités susceptibles de provoquer la pollution des eaux. A cet effet, les articles L 49, L 61, L 62 et L 101 de ce code fixent les conditions d'utilisation et de rejet des déchets liquides domestiques dans le milieu naturel.

La loi 83-71 du 05 juillet 1983 portant Code de l'hygiène s'intéresse à l'hygiène publique. Elle prend en compte les règles d'hygiène pour l'eau, l'habitat, les rues, les plages, les usines, l'alimentation, les boissons et les restaurants. Elle définit également les attributions des agents du Service national de l'Hygiène. Les règles d'hygiène concernant l'eau portent sur la protection, la désinfection, et les précautions à prendre concernant les réseaux d'alimentation en eau, les sources et les réservoirs. Différents articles de ce code lient la dégradation de l'hygiène publique aux eaux résiduaires : il s'agit des articles L 17, L 18, L 22 et L 75. Ce n'est que dans ce code, en son article L 41 que la réglementation sénégalaise interdit la pratique de réutilisation des eaux usées domestiques brutes dans l'agriculture.

Cette ancienne législation a été révisée et adaptée à l'organisation moderne du pays pour répondre aux besoins à son développement socio-économique, ce qui a nécessité la création d'une nouvelle réglementation

moderne des eaux par l'adoption de la loi N° 2001-01 du 15 janvier 2001 portant code de l'Environnement.

La loi N° 2001-01 du 15 janvier 2001 portant Code de l'Environnement a pour objet d'établir les principes fondamentaux destinés à gérer, à protéger l'Environnement contre toutes les formes de dégradation... (Article L3). Le cas de la gestion des eaux est abordé de manière directe ou indirecte par deux dispositions législatives du code. Il s'agit du titre II relatif à la gestion des déchets et du titre III ayant trait à la protection et la mise en valeur des milieux récepteurs. Ces titres traitent de l'interdiction de rejeter des eaux usées ou des déchets solides, d'effectuer tout épandage ou enfouissement d'effluents et tout dépôt de déchets susceptibles de polluer par infiltration les eaux souterraines ou par ruissellement les eaux de surface, afin d'en modifier les caractéristiques physico-chimiques ou bactériologiques sans autorisation préalable accordée, après enquête, par la Direction de l'Environnement et des Etablissements classés (DEEC).

Le titre II traite de façon claire de la nécessité de collecter, d'évacuer et de traiter les déchets afin de supprimer ou de réduire leurs effets sur la santé de l'homme et sur les ressources naturelles... Quant au titre III, il est beaucoup plus explicite et aborde d'emblée, dans son premier chapitre, la pollution des eaux. L'article L63 de ce chapitre interdit tout déversement, écoulement, rejet de toute nature susceptible de provoquer ou d'accroître la pollution des eaux continentales et / ou eaux de mer. Une taxe de pollution est même prévue dans ce chapitre avec l'article L73.

Dans le décret d'application du code de l'Environnement (décret N°2001-282 du 12 Avril 2001), il apparaît pour la première fois au Sénégal une réglementation concernant les pollutions causées par les eaux de rejets résiduaire. Le même décret régit l'exigence pour toutes les industries, les structures étatiques ou les collectivités locales d'opérer un traitement préalable des eaux résiduaire avant tout rejet dans le milieu naturel.

Cet arsenal législatif semble couvrir l'ensemble des domaines de l'eau et de l'assainissement. Il a été récemment (juillet 2001) complété par des normes s'appliquant aux rejets d'eaux usées dans les limites territoriales du

pays sur des milieux récepteurs tels que des eaux de surface, souterraines ou marines. Ces normes fixent la qualité que devraient avoir les eaux usées avant leur insertion dans le milieu naturel. Elles comportent des valeurs limites de concentration à ne pas dépasser et font également référence aux flux de pollution et aux rendements des installations d'épuration (tableau I). La réglementation sénégalaise a fixé des valeurs unitaires de pollution correspondant au rejet journalier standard d'un habitant pour les divers paramètres énumérés précédemment.

Tableau II- Les concentrations limites applicables au Sénégal au rejet d'eaux usées dans le milieu naturel (source : ASN¹ ex-ISN, 2001)

Paramètres	Concentration limite	Observations
MES	50 mg/L	–
DCO	200 mg/L (si le flux journalier n'excède pas 100 kg/jour) 100 mg/L (au-delà de 100 kg/jour)	Des valeurs limites de concentrations différentes peuvent être fixées par l'arrêté d'autorisation, lorsqu'il existe une valeur limite exprimée en flux spécifique de pollution
DBO5 (sur effluent non décanté)	80 mg/L (si le flux journalier n'excède pas 30 kg/jour) 40 mg/L (au-delà de 30 kg/jour)	-
Azote total	30 mg/L (Lorsque le flux journalier est \geq 50 kg/jour)	Des valeurs limites de concentrations différentes peuvent être fixées par l'arrêté d'autorisation lorsque le rendement de la station d'épuration de l'installation atteint au moins 80 % pour les installations nouvelles et 70 % pour les installations modifiées
Phosphore total	10 mg/L (Lorsque le flux journalier est \geq 15 kg/jour)	Des valeurs limites de concentrations différentes peuvent être fixées par l'arrêté d'autorisation.
Coliformes fécaux	2000 UFC/100 ml	–

3. Association Indicateurs de pollution et germes pathogènes

Les coliformes fécaux sont considérés comme des indicateurs utiles parce qu'ils sont présents chez pratiquement tous les animaux à sang chaud, y compris les humains, en quantité dépassant de loin le nombre de germes pathogènes. On a tenté de quantifier la relation entre les coliformes fécaux et les germes pathogènes, mais sans grand succès. Le germe pathogène le plus largement étudié en relation avec les densités d'indicateur est *Salmonella*, principalement parce que la méthodologie existe depuis longtemps. GELDREICH E. E., (1970) a compilé les résultats de plusieurs études dans lesquelles étaient comparées la densité des coliformes fécaux par 100 mL et la fréquence de la détection de *Salmonella*. Dans l'eau douce, *Salmonella* a été retrouvée dans 27,6 % des échantillons où la densité des coliformes fécaux était inférieure à 200 pour 100 mL, dans 85,2 % des échantillons dont la densité des coliformes fécaux était comprise entre 201 et 2000 pour 100 mL et dans 98,1 % des échantillons où elle dépassait 2000 pour 100 mL. Dans les eaux des estuaires, les résultats n'étaient pas aussi nets. Quand les densités de coliformes fécaux étaient inférieures à 200/100 mL, la probabilité de trouver *Salmonella* était de 28,4 %; cependant, si les densités de coliformes fécaux étaient supérieures à 2000 pour 100 mL, la probabilité de trouver *Salmonella* n'était que de 60 %. Une étude menée par MENON. A. S. (1985), dans une enquête portant sur une rivière à marée de la Nouvelle-Écosse qui reçoit des effluents d'une municipalité et d'une usine de produits alimentaires, a rapporté que les *Salmonella* étaient toujours détectées quand les niveaux de coliformes fécaux étaient supérieurs à 2000 pour 100 ml et étaient occasionnellement détectées quand les niveaux de coliformes fécaux dépassaient 200 pour 100 ml. À l'opposé, PAYMENT P. et coll., (2006) n'ont pas noté de relation entre la présence de *Salmonella* (la plupart des isolats étaient des *S. typhimurium*) et d'autres indicateurs bactériens, dont des coliformes fécaux, dans quatre plages d'eau douce du Québec. De façon générale, les échantillons contenant des concentrations élevées de coliformes fécaux contiendraient probablement aussi des *Salmonella*, mais l'absence de coliformes fécaux n'indique pas nécessairement que *Salmonella* ou d'autres

germes pathogènes sont absents. Cette relation est également sujette à des variations régionales considérables.

Selon une étude menée par KOUNDI A. et al. (2002), les germes pathogènes identifiés dans les eaux sont de provenance fécale, humaine ou animale et qu'ils sont accompagnés en permanence dans les matières fécales de bactéries non pathogènes, toujours présentes en grand nombre. Elles sont appelées "germes témoins de contamination fécale". Malheureusement, lorsque l'eau est exposée à un traitement de désinfection, ces germes ont généralement un comportement et un devenir très différents de celui des microorganismes pathogènes. Ils perdent alors leur signification générale de témoins de contamination fécale, en ce sens qu'ils ne permettent plus d'apprécier l'importance du risque lié à celle-ci. Cependant, l'absence d'indicateurs de pollution ne constitue pas une preuve de l'absence de contamination, car le devenir ou le comportement des germes témoins dans le milieu n'est pas obligatoirement le même que celui des pathogènes entre l'émission des matières fécales et l'utilisation de l'eau contaminée. (KOUNDI A., 2002).

3.1. Habitat et Epidémiologie des Salmonelles

Les *Salmonella Spp* sont des bacilles Gram négatif aérobies, anaérobies appartenant à la famille des entérobactéries.

Historiquement, les Salmonelles forment un genre à l'intérieur duquel cinq sous-genres ou sous-groupes, eux-mêmes répertoriant plus de 2 000 sérotypes ayant des noms d'espèces. Selon HASLEY C. (1993), les données taxonomiques modernes montrent que le genre *Salmonella* correspond en réalité à une seule espèce appelée *S. enterica* et que la désignation des sérotypes par des noms d'espèces est en quelque sorte, un abus de langage. (HASLEY C., LECLERC H., 1993). Les *Salmonella* peuvent être strictement adaptées à un hôte ; elles peuvent aussi être ubiquistes, c'est-à-dire rencontrées dans un grand nombre d'espèces animales, ou encore sans signification pathologique. Les sérotypes adoptés à l'homme sont *Salmonella Typhi* et *Salmonella Paratyphi A* responsables de la fièvre typhoïde. Selon une étude menée au Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France Section des eaux, (CSHPF, 1995) la

transmission de la fièvre typhoïde d'homme à homme se fait par l'intermédiaire d'eau ou d'aliments souillés par des selles de malades ou de convalescents. Chez certains sujets elles peuvent être présentes sans entraîner de symptômes (porteurs sains). Les Salmonella sont des parasites du tube digestif de l'homme et des animaux.

Les Salmonella sont retrouvées également dans le milieu extérieur et dans les eaux d'égouts en particulier. Elles peuvent revêtir trois aspects de par leur pouvoir pathogène ; il s'agit :

- des formes septicémiques à point de départ lymphatique qui sont généralement dues à Salmonella Typhi, S. Paratyphi A, B et rarement C.
- des Salmonelloses purement digestives. Elles provoquent les toxi-infections alimentaires qui se manifestent par des diarrhées, de la fièvre et des vomissements.

Les formes extra-digestives : Elles sont plus rares. Il s'agit d'infections urinaires, de méningites, d'ostéomyélites et d'infections pulmonaires. Ces formes surviennent plus volontiers chez des malades immunodéprimés. Les déficits enzymatiques des globules rouges et la drépanocytose sont des circonstances favorisantes révèle le CSHPF en 1995. Les salmonelloses non typhiques sont des infections le plus souvent d'origine alimentaire, se manifestant sous forme de cas sporadiques, de toxi-infections alimentaires collectives (TIAC) ou d'épidémies communautaires. Les TIAC sont définies par la survenue d'au moins deux cas groupés, présentant des symptômes similaires, le plus souvent digestifs (gastro-entérites) dont on peut rapporter la cause à une même origine alimentaire. Ce sont des maladies à déclaration obligatoire.

Le réservoir de Salmonella spp (hors typhi et paratyphi) est principalement animal, domestique et sauvage : volailles, porcs, bovins, rongeurs, mais aussi chiens, chats et nouveaux animaux de compagnie (principalement les reptiles : iguanes, tortues terrestres ou marines). L'homme (malade ou porteur) est une source potentielle.

La transmission humaine est principalement liée à la consommation d'aliments contaminés d'origine animale et consommés crus ou peu cuits : viandes (volaille, steaks hachés), œufs, préparations à base d'œufs sans cuisson

(mousse au chocolat, pâtisseries, mayonnaise...). Plus rarement sont en cause les fruits ou les légumes frais, le lait et les produits laitiers contaminés par des matières fécales animales. La contamination secondaire, lors de la préparation d'un aliment par une personne infectée ou porteuse, est plus rare. Une contamination croisée entre un aliment sain et un aliment contaminé peut également avoir lieu dans les magasins, lors de distribution de denrées à la coupe, dans les restaurants ou au domicile lors de la préparation des repas.

La surveillance des salmonelloses d'origine humaine repose sur la déclaration obligatoire des TIAC au centre national de référence des *Salmonella*. A Dakar, il s'agit de l'Institut Pasteur. Elle est complétée par la surveillance des salmonelles d'origine animale et alimentaire.

Après une incubation de 12 à 72 heures, la maladie se manifeste par une gastro-entérite aiguë fébrile : apparition brutale de douleurs abdominales, de diarrhées, de nausées, de vomissements, de fièvre le plus souvent élevée, et parfois de céphalées. Les formes les plus graves sont observées chez les jeunes enfants, les personnes âgées et les personnes immunodéprimées.

Dans les formes habituelles, la guérison est spontanée en quelques jours. Le traitement antibiotique est réservé aux patients à risque présentant une forme grave. La prévention repose sur l'application des bonnes pratiques d'hygiène lors de la préparation des aliments : le respect des chaînes du chaud et du froid, la cuisson suffisante des aliments, le respect et l'application stricte des règles de préparation et de conservation des aliments et des règles d'hygiène élémentaires.

3.2. Habitat et Epidémiologie des Shigelles

Les Shigelles constituent un problème de santé publique important dans les pays en développement (150 millions de cas par an) où elles sont la cause d'une mortalité infantile estimée à 600 000 cas (FAUCHERE J. L., AVRIL J. L. 2002).

Dans les pays les moins avancés, la Shigellose endémique est due avant tout à *Shigella flexneri* (SUTRA L. 1998). Le taux de morbidité y est élevé. Les localisations extra digestives sont peu fréquentes.

Les shigelles sont des bacilles à Gram négatif, toujours immobiles, appartenant à la famille des Entérobactéries et caractérisés par leur faible

activité métabolique. D'après la spécificité de leur antigène somatique O et certains caractères biochimiques, Les Shigelles sont divisés en quatre sous-groupes (espèces). Chaque espèce subdivisée en sérotypes : *Shigella dysenteria* (10 sérotypes), *S. flexnerii* (6 sérotypes), *S. boydii* (15 sérotypes) et *S. sonnei* (1 sérotype) (FAUCHERE J. L., AVRIL J. L. 2002). Les *Shigella* sont pathogènes, uniquement pour l'homme et les primates. Elles sont responsables de la dysenterie bacillaire (*S. dysenteria*), de gastro-entérites et de diarrhées engendrées souvent par l'eau et les aliments.

Les Shigelles sont caractérisées par leur aptitude à coloniser le gros intestin, à pénétrer et à se multiplier dans les cellules épithéliales coliques et à provoquer la maladie.

Le seul réservoir de *Shigella* est le tube digestif de l'Homme. Ces bactéries ne font pas partie de la flore normale du tube digestif. Elles sont présentes dans les matières fécales des malades ou des porteurs sains. La Shigellose est la plus transmissible des maladies bactériennes intestinales (FAUCHERE J. L., AVRIL J. L. 2002). Selon HASLEY C. et al, dix germes vivants peuvent provoquer la maladie chez un adulte sain. La dissémination de la maladie se fait par les aliments, l'eau de boisson contaminée par des matières fécales ou de personne à personne. Les Shigelloses surviennent là où les conditions d'hygiène sont défectueuses.

Absorbées par voie orale, les Shigelles ne colonisent pas l'intestin grêle. Le pouvoir pathogène entéro-invasif s'exerce au niveau du colon. Les bactéries pénètrent dans les entérocytes puis envahissent les cellules adjacentes de la muqueuse.

3.3. Habitat et Epidémiologie des Vibrions cholériques

Vibron. cholerae est un bacille à Gram négatif de forme incurvée, très mobile avec une ciliature polaire (monotriche). oxydase+, aéro-anaérobie. Le diagnostic est d'abord biochimique. Les bactéries fermentent plusieurs sucres sans production de gaz. En eau peptonée, on peut réaliser la réaction qui met en évidence la production d'indole-nitrite avec l'acide sulfurique. Les conditions de croissance de *V. cholerae* sont: une température optimale entre 30-37°C; une

tolérance au NaCl (halotolérance: 1-3%), inhibition à 7% de NaCl; un pH de croissance de 7 à 10. *V. cholerae* sécrète de nombreuses enzymes (lipase, amylase) et produit certains enzymes métaboliques (ornithine décarboxylase ODC+).

Vivant principalement dans l'eau, *Vibrio cholerae* est responsable du choléra, dont la principale manifestation est une diarrhée aqueuse, non fébrile qui entraîne en quelques heures une déshydratation majeure (FAUCHERE J. L., AVRIL J. L. 2002). D'après FAUCHERE J. L., cette bactérie ingérée avec des aliments contaminés, est normalement tuée par l'acidité de l'estomac. Lorsque celle-ci est neutralisée (pansements gastriques alcalins) ou diminuée (sujets dénutris), le germe passe la barrière gastrique, se multiplie dans l'intestin grêle et excrète une puissante entérotoxine ; celle-ci entraîne une déshydratation aiguë, rapidement mortelle en l'absence de traitement. D'autres vibrions cholériques sont responsables de syndromes diarrhéiques de moindre gravité.

L'agent du cholera est éliminé en grande quantité dans les selles de malades. Il est présent également dans les vomissements. On peut retrouver *Vibrio Cholera* dans le milieu extérieur. Relativement fragile, ce germe persiste de façon éphémère dans les eaux d'étangs ou de rivières. Sa survie est prolongée dans les eaux salées. Il peut également persister dans certains aliments frais (lait, poisson...) durant plus de deux semaines. L'homme est le principal réservoir de vibrions cholériques, qu'il soit malade ou porteur «sain ». La contamination se fait surtout par contact manuel direct avec un porteur et surtout avec un malade ou un cadavre et par l'eau et les aliments. Les circonstances favorisant la diffusion de la maladie sont liées au bas niveau de vie socio-économique et surtout aux mauvaises conditions d'hygiène et d'habitat.

3.4. Les Coliformes fécaux

Certains groupes bactériens mis en évidence par des tests spécifiques peuvent être considérés comme témoins de contamination d'origine humaine ou fécale et indiquer la présence possible de pathogènes d'écologie similaire. Ainsi, en est-il par exemple du groupe des coliformes fécaux regroupant notamment

Escherichia coli, *Klebsiella*, *Enterobacter* ; des entérocoques, témoins de contamination fécale (SUTRA L., 1998).

Les Coliformes sont des bactéries qui vivent normalement dans les intestins de l'Homme et des animaux à sang chaud, souvent en association avec d'autres bactéries pathogènes telles que les Salmonelles et les Shigelles. Leur présence dans un aliment traduit, par conséquent, une contamination d'origine fécale et corrélativement un risque de présence de certains germes pathogènes d'association.

Parmi les bactéries Gram- vivant dans les intestins de l'Homme et des animaux, les Coliformes se caractérisent par leur aptitude à fermenter le lactose. Ce sont des bactéries en forme de bâtonnets, aérobies facultatives, Gram négatives, asporulantes, cytochrome oxydase négatives, qui fermentent le lactose avec production de gaz en présence de sels biliaires à $44^{\circ} \text{C} \pm 0,2^{\circ} \text{C}$ en $24 \text{ h} \pm 2 \text{ h}$ au moins.

Le groupe des coliformes pris dans son ensemble ne présente pas une bonne spécificité. Ce sont des bactéries qu'on trouve dans les intestins, mais également dans d'autres environnements. Toutefois, certains représentants se distinguent à cet égard. *Escherichia Coli* est sans doute le plus spécifique des bactéries témoins de contamination fécale.

3.5. Les Streptocoques fécaux

Sous la dénomination générale de « streptocoques fécaux », il faut entendre l'ensemble des streptocoques possédant la substance (acide teichoïde) antigénique caractéristique du groupe D de Lancefield c'est-à-dire essentiellement : *Enterococcus faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. hirae*, *Streptococcus bovis*, *S. suis*, *S. equinus*. Ces streptocoques du groupe D sont généralement pris globalement en compte comme des témoins de pollution fécale, car tous ont un habitat fécal (RODIER J, 1996). Selon toujours le même auteur (RODIER J.), les dénombrements des streptocoques fécaux présumés sont rarement effectués indépendamment des dénombrements de coliformes totaux et de coliformes fécaux présumés. Toutefois, d'une façon générale, les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que spécifiquement pollués par le bétail, inférieurs à celles des coliformes fécaux. Il

faudra tenir compte de cette différence des concentrations (que l'on peut évaluer à un rapport de 1 à 2 ou 4) dans les choix des prises d'essai.

Les streptocoques fécaux forment ainsi un groupe hétérogène de bactéries dont les caractéristiques morphologiques et métaboliques sont identiques. En revanche, leurs caractéristiques génétiques, écologiques et pathogènes diffèrent. Les streptocoques fécaux du type D (saprophytes habituels des voies rhinopharyngées et intestinales de l'homme et des animaux) ont été choisis comme indicateurs d'une pollution fécale plus ancienne, en raison de leur rémanence plus élevée dans le milieu extérieur.

Les Streptocoques D (entérocoques) se multiplient à 37° C dans un milieu BEA (gélose biliée à l'esculine et à l'azide de sodium) et donnent en 48 heures de petites colonies noires.

4. TYPOLOGIE ET SYSTEME DE COLLECTE DES EAUX USEES

4.1. Le système de collecte des eaux usées

Les réseaux d'assainissement constituent un élément essentiel du dispositif d'assainissement collectif. Ils ont pour fonction la collecte des eaux usées et leur transport vers des installations de traitement avant qu'elles rejoignent le milieu naturel. Pour respecter les objectifs de qualité des eaux rejetées, il existe deux systèmes d'assainissement :

– le système séparatif qui possède deux conduites en parallèle : l'une destinée à collecter les eaux usées qui seront traitées et l'autre destinée à collecter les eaux pluviales qui seront rejetées dans le milieu récepteur sans être traitées. Cependant, il a été constaté que de plus en plus, les eaux pluviales sont la cause de pollutions importantes des cours d'eau, notamment pendant les périodes orageuses. En effet, l'eau de pluie se charge d'impuretés au contact de l'air (fumées industrielles...) puis, en ruisselant, elle entraîne les substances polluantes des toits et des chaussées (huiles de vidange, carburants, résidus de pneus et métaux lourds...). (ONAS 2004)

– les réseaux unitaires qui évacuent dans les mêmes canalisations les eaux usées domestiques et les eaux pluviales.

4.2. Les eaux usées domestiques.

Les eaux usées domestiques sont appelées aussi eaux usées urbaines. Elles sont issues des habitations ou des sanitaires des entreprises. Elles comprennent : deux types d'eau: les eaux usées ménagères, ou eaux grises, et les eaux vannes, ou eaux noires. Les eaux ménagères proviennent de la cuisine, de la salle de bains (baignoire, douche, lavabo, bidet) et de la buanderie. Les eaux vannes sont essentiellement les eaux des WC. Elles présentent une charge bactériologique très élevée caractérisée principalement par les germes de la flore intestinale.

Elles sont soit drainées par un réseau d'assainissement qui les dirige vers la station d'épuration (STEP) soit gérées par un système individuel. Les eaux usées domestiques véhiculent une forte charge en matières organiques et

matières minérales sous différentes formes (particules en suspension, dissoutes, colloïdales).

DEUXIEME PARTIE :

CADRE DE L'ETUDE, MATERIELS ET METHODES

1. CADRE DE L'ETUDE : STATION D'EPURATION DE CAMBERENE

1.1. Description de la station

La Station d'Épuration des eaux de Cambérène a été mise en service en 1989. Sa principale mission est le traitement des eaux usées domestiques rejetées par une bonne partie de la population de la ville de Dakar.

L'accroissement de la population dakaroise s'est accompagné d'une forte augmentation de rejets d'effluents. Il a eu pour conséquence une plus grande sollicitation de la Station d'épuration de Cambérène. Dès lors, la nécessité d'élargir les installations de la Station s'imposait. C'est ainsi qu'en 2004. Des travaux d'élargissement des installations ont été effectués. La capacité de traitement initiale a été doublée. De 100 000 équivalents/ habitants, la capacité de traitement est passée à 200 000 équivalents/ habitants. Son débit moyen journalier est passé de 9 600 m³ à 19 200 m³, avec un débit de pointe qui a doublé pour atteindre 1 400 m³ / heure et un débit moyen horaire de 800 m³.

La Station est composée d'un ensemble de mécanismes qui fonctionnent en synergie. En effet, le relèvement des eaux usées est assuré par 3 vis d'Archimède d'un débit de 700 m³/ heure chacun. Des dégrilleurs automatiques avec des barreaux espacés de 25 mm sont chargés d'arrêter les grosses particules.

Les dessableurs-déshuileurs qui occupent un double couloir de 340 m³ constituent des barrières essentielles au sable et aux huiles et graisses flottantes.

Le bassin d'aération de 4500 m³ équipé de 6 aérateurs de surface est alimenté par l'ancien décanteur primaire d'une capacité de 950 m³, mis en parallèle avec un nouveau décanteur primaire de 3000 m³ de capacité.

Le bassin décanteur secondaire (clarificateur) de 1695 m³ alimente quatre filtres à sable de 300 m² de surface d'épuration chacun. Après filtration les eaux usées sont déversées dans un bassin de chloration de 235 m³ équipé de pompes de distribution.

Le nouveau décanteur primaire est connecté à un bassin de chloration de 235 m³ équipé de pompes de rejet en mer.

La digestion des boues est assurée par 2 digesteurs primaires de 3000 m³ chacun d'un digesteur secondaire de 2000 m³ et d'un gazomètre de 1000 m³.

En plus du dispositif technique de fonctionnement, la station dispose d'un bâtiment énergétique composé d'un groupe électrogène à gaz de 300 kVa, de deux groupes électrogènes à fuel 800 et 300 kVa, d'une chaudière à fuel, d'un réseau SENELEC et d'un bâtiment administratif équipé de bureaux, d'une salle synoptique et un laboratoire d'analyse physico-chimique et biologique.

1.2. Rôle de la Station

Le rôle de la station d'épuration de Cambérène est de réduire la pollution des eaux usées domestiques de façon à ne rejeter dans le milieu extérieur que des eaux traitées dont la qualité est conforme aux normes sénégalaises de rejet. Cela permet ainsi de respecter les normes environnementales et de produire des boues servant d'amendements organiques et substances fertilisantes utilisés éventuellement en agriculture.

1.3. Organisation de la filière de traitement

1.3.1. Le Prétraitement

Le prétraitement, des eaux usées vise à éliminer les plus grosses impuretés. Il comporte différentes phases:

1.3.1.1. Le dégrillage

Les dégrilleurs sont implantés en tête de Station. Dès la prise des eaux usées, les déchets les plus grossiers sont retenus par les barreaux d'une grille. Cette étape permet de protéger la Station contre l'arrivée intempestive de gros objets susceptibles de provoquer des bouchages dans les différentes unités de l'installation.

1.3.1.2. Le dessablage

A cette étape, la vitesse d'écoulement est lente et les matières lourdes se déposent sous l'effet de la pesanteur. Le sable et les matériaux lourds tels que les graviers et les particules minérales plus ou moins fines doivent être rapidement éliminés en vue d'éviter l'abrasion des corps de pompes et des équipements mécaniques.

1.3.1.3. Le dégraissage-déshuilage

L'eau est agitée en vue d'une bonne aération. Les matières légères flottent. L'huile remonte et elle est alors récupérée par raclage en surface.

1.3.2. Le Traitement primaire

Le Traitement primaire est caractérisé par des techniques physiques de séparation par décantation gravitaire des matières solides. C'est un processus faisant appel à la grosseur et au poids spécifique des particules. Ce phénomène permet le dépôt, au fond du décanteur, des matières en suspension (MES).

1.3.3. Les traitements secondaires

Les traitements secondaires agissent essentiellement sur la pollution organique et azotée. Dans ces procédés, les bactéries, stimulées par un apport important d'oxygène, se nourrissent de la pollution organique. La technique d'épuration par boues activées est le procédé le plus utilisé. Elle consiste à la mise en place d'un système de brassage et d'aération dans un bassin alimenté en continu par les eaux à traiter. A l'intérieur du bassin se développe une culture bactérienne libre qui se fixe sur les polluants organiques, formant ainsi une sorte de boue. Le contenu de ce bassin dit « d'aération » est brassé et aéré continuellement afin de maintenir les bactéries en suspension et de leur fournir de l'oxygène. Le mélange eaux-bactéries est ensuite envoyé dans le décanteur secondaire pour une séparation solide-liquide, donnant lieu à une eau clarifiée. Une partie des boues vivantes ou boues activées extraites du décanteur secondaire est recyclée dans le bassin d'aération afin d'y maintenir la quantité de bactéries nécessaire au bon fonctionnement du système. L'excédent est évacué avec les autres déchets de l'épuration, notamment les matières en suspension initiales, recueillies dans un décanteur primaire avant même l'arrivée de l'eau dans le bassin. Le brassage et l'oxygénation du bassin d'aération sont assurés par des turbines de surface, munies d'hélices qui agitent énergiquement l'eau. Le recyclage des boues activées ne se fait pas en continu mais par cycles intermittents.

1.3.4.. Filtration de l'effluent

La filtration est un procédé physique par lequel des particules en suspension ou colloïdales contenues dans un courant sont séparées de la phase liquide en pénétrant dans un milieu poreux et sont accumulées à la surface ou dans les pores de ce milieu. Elle a une importance plutôt secondaire dans le traitement des eaux usées et est utilisée quand il s'agit d'atteindre un degré d'élimination des impuretés plus poussé.

1.3.5. Chloration

Les rejets peuvent causer une contamination microbienne susceptible de compromettre la pratique sécuritaire de nombreux usages de l'eau, comme la consommation de produits halieutiques ou les activités récréatives qui amènent à entrer en contact direct avec l'eau. Pour des raisons de santé publique, il s'avère donc nécessaire de réduire la contamination microbienne des eaux traitées. La désinfection des eaux usées est une façon efficace d'y parvenir. Le choix d'un moyen de désinfection se fait normalement en considérant les contraintes techniques, économiques et environnementales qu'il présente.

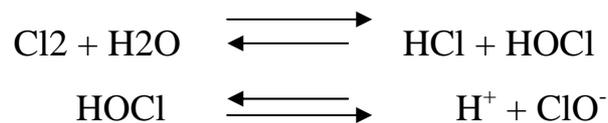
Le mode de désinfection idéal est celui qui regroupe les caractéristiques suivantes :

- efficace sur la plupart des micro-organismes pathogènes sous différentes conditions;
- absence de sous-produits indésirables formés à la suite de son utilisation;
- produit non dangereux pour les humains et pour la vie aquatique;
- facilité d'utilisation;
- faibles coûts d'investissement et d'exploitation.

Il existe plusieurs moyens pour désinfecter les eaux usées, mais le moyen le plus utilisé demeure la chloration. C'est ce mode qu'on retrouve d'ailleurs à la station de Cambérène.

Le chlore est un agent oxydant fort qui réagit facilement avec plusieurs substances organiques et inorganiques trouvées dans les eaux usées. Aux fins de désinfection, le chlore est utilisé sous les formes suivantes : chlore gazeux (Cl_2), hypochlorite de sodium ou eau de javel (NaClO) et bioxyde de chlore (ClO_2). Il est particulièrement efficace pour détruire les bactéries, mais moins efficace contre les virus.

Le chlore tue les organismes pathogènes, à condition d'assurer un temps de contact suffisant. L'action du chlore est fonction du pH de l'eau avec laquelle il est en contact : lorsque l'on introduit du chlore dans l'eau, que ce soit du chlore gazeux (Cl_2), de hypochlorite de sodium (NaClO) ou de l'hypochlorite de calcium ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$), deux acides se forment, l'acide chlorhydrique (HCl) et l'acide hypochloreux ou chlore actif (HOCl) ; ce dernier se décomposant en ions H^+ et ClO^- (ion hypochlorite).



L'acide hypochloreux (HOCl) est un bactéricide puissant. En effet il ne porte pas de charge électrique et sa forme ressemble à celle de l'eau. La membrane cytoplasmique le laisse donc passer en même temps que l'eau, contrairement à l'ion hypochlorite ClO^- qui ne pénètre pas du fait de sa charge négative. A l'intérieur de la cellule, l'acide hypochloreux (HOCl) bloque toute activité enzymatique, entraînant ainsi la mort de la cellule. (EMPEREUR-BISSONET P. et SALZMAN V., 1988.)

Au plan économique, il s'agit d'une technologie dont les coûts sont bien connus et les plus faibles parmi toutes les techniques éprouvées.

Au plan de la sécurité, la manipulation du chlore, notamment sous forme gazeuse, nécessite d'importantes mesures de protection pour le personnel de la station d'épuration et constitue un risque pour la sécurité publique lors du transport.

Enfin, au plan environnemental, la désinfection des eaux usées au chlore peut avoir un impact significatif sur la vie aquatique à cause de la toxicité, aiguë et chronique, du chlore résiduel. De plus, le chlore réagit avec certaines matières

organiques contenues dans les eaux usées, même traitées, pour former des sous-produits organochlorés, dont certains sont potentiellement cancérigènes.

2. METHODOLOGIE:

2.1. Durée de l'étude

Les Campagnes de prélèvement se sont déroulées durant la période de mai à Octobre 2006. Au mois de Mars 2007, trois campagnes supplémentaires ont été effectuées en vu de compléter les résultats déjà obtenus. Les analyses sont réalisées sur 60 échantillons pour dix campagnes de prélèvement soit 6 échantillons par campagne.

2.2. Matériels de prélèvements

Les prélèvements ont été réalisés avec des flacons stériles en verre (Durham) de 250ml. Après collecte (voir plan de prélèvement ci-dessous), les échantillons sont acheminés

au laboratoire à l'aide d'une glacière et à basse température (environ 6°C) puis analysés aussitôt à l'arrivée.

Après chaque étape, l'extérieur du flacon qui a servi au prélèvement a été rincé avec de l'eau de robinet et mis dans un sachet en plastique. Cela permet d'éviter une éventuelle contamination directe de l'intérieur de la glacière.

Au moment des prélèvements, des gants de protection ont été utilisés afin de prévenir la transmission de microorganismes.

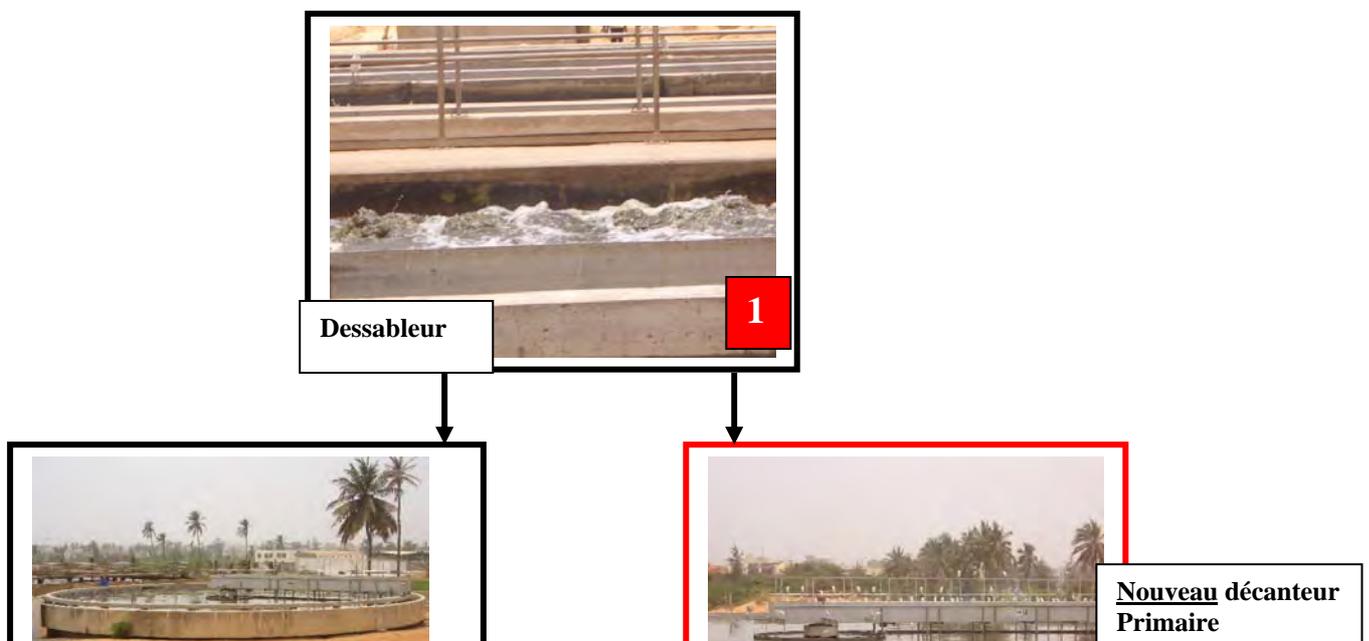
L'examen microbiologique des eaux consiste à un dénombrement des coliformes fécaux et des Streptocoques fécaux et à une identification des Salmonelles, des Shigelles et des Vibrions au niveau des différents échantillons.

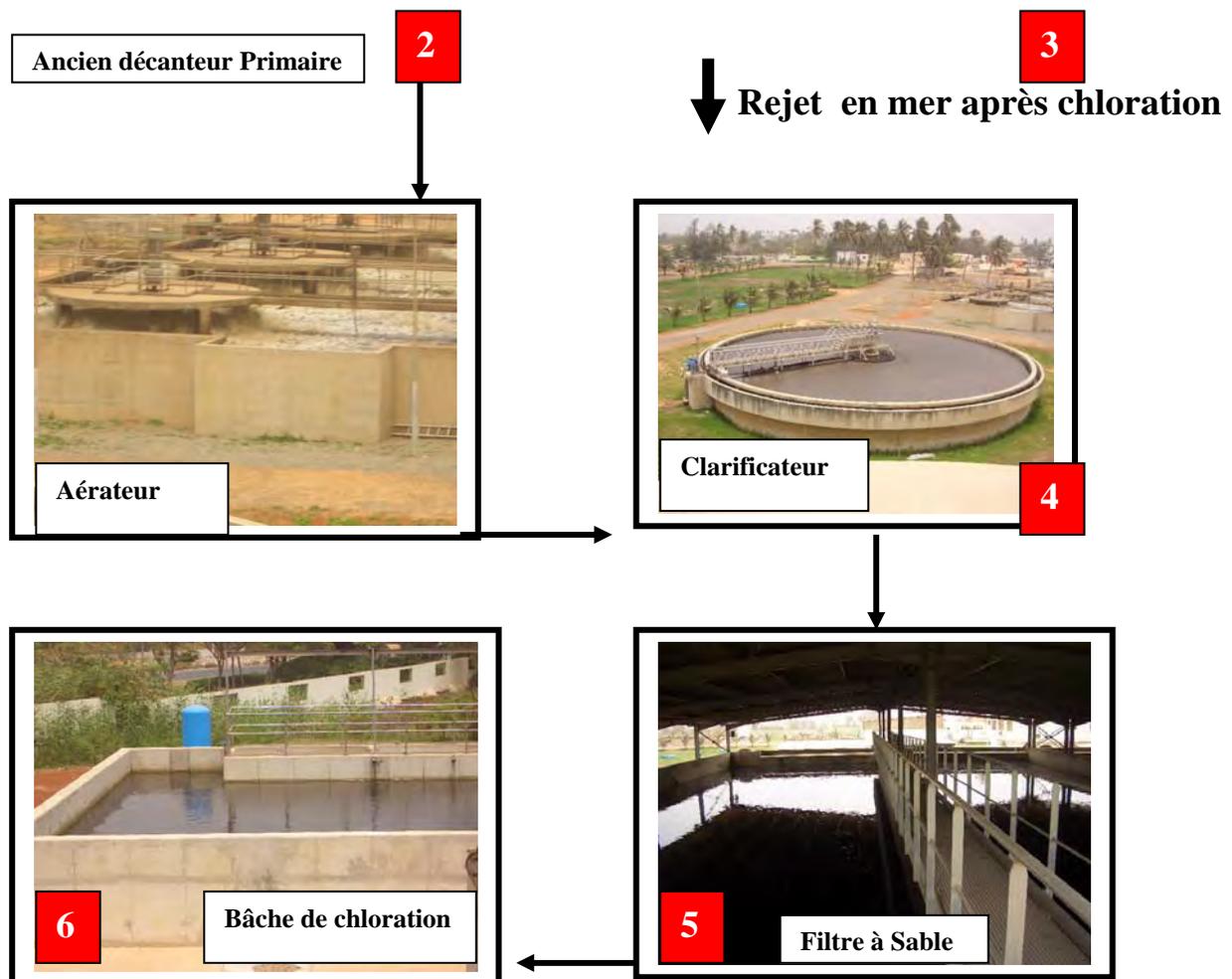
2.3. Plan de Prélèvement

Les prélèvements sont effectués le long du circuit des eaux usées selon le plan indiqué dans la **figure 7**, il s'agit principalement des étapes suivantes :

- Sortie du bassin de dessablage-déshuilage ;
- Sortie de l'ancien décanteur primaire ;
- Sortie du nouveau décanteur primaire ;
- Sortie du clarificateur ;
- Sortie des filtres à sable et enfin au poste de chloration

Figure 7: Présentation sommaire des postes de prélèvement





2.4. Travail de laboratoire

2.4.1.. Dénombrement des indicateurs de pollution fécale

L'analyse bactériologique consiste en un dénombrement des Coliformes thermotolérants (CTT) ou coliformes fécaux, des Streptocoques fécaux (SF) ou entérocoques. Ces germes sont recherchés par inoculation dans la gélose VRBL pour les CTT et la gélose BEA pour les entérocoques et leur dénombrement effectué respectivement au bout de 24 et 48 heures. Les milieux de culture utilisés ainsi que les conditions d'incubation des différents germes recherchés sont indiqués dans le **tableau III**.

2.4.2. Identification des Salmonelles.

Des dilutions décimales successives d'échantillons sont pré-enrichies pendant 18 ± 2 heures à $37 \text{ }^\circ\text{C}$ en eau peptonée tamponnée (EPT). L'étape de préenrichissement est suivie d'un enrichissement qui consiste à prélever et à

repiquer 1 mL de la culture du bouillon eau peptonée tamponnée dans un tube contenant 9 mL de bouillon au sélénite de sodium (Na_2SeO_3) puis d'un isolement sur gélose Salmonella-Shigella et gélose Hectoén. En cas de suspicion de Salmonelle, on procède à une identification de la souche suspectée.

2.4.2.1. Pré-enrichissement

C'est une phase non sélective qui utilise un milieu riche (eau peptonée tamponnée) dans lequel l'échantillon est dilué au 1/10 et pour laquelle l'incubation dure 18 heures à 37° C. Au terme de cette phase, toutes les Salmonelles (mais aussi les autres bactéries contenues dans l'échantillon) qui sont initialement soumises à des conditions d'environnement très éloignés de celles de leur milieu de prédilection, ont repris leur faculté à se multiplier très rapidement.

2.4.2.2. Enrichissement (en milieux sélectifs liquides durant 24 heures)

Afin de minimiser la croissance des autres bactéries associées au prélèvement et de poursuivre la multiplication sélective des *Salmonella*, 1 mL du milieu de pré-enrichissement est transféré dans un milieu d'enrichissement contenant 9 ml de bouillon sélénite. L'incubation s'effectue à 37 °C pendant 24 heures.

2.4.2.3. Isolement (sur milieux sélectifs solides)

Il s'agit également d'une phase sélective mais qui utilise des milieux de culture solides coulés en boîte de pétri. Les Salmonelles apparaissent sous forme de colonies caractéristiques de leur forme, leur couleur et leur morphologie. La composition des principaux bouillons d'enrichissement et géloses d'isolement utilisés pour la recherche des Salmonelles est indiquée en annexe.

L'incubation des milieux sélectifs se fait à 37°C pendant 24 à 48 heures. Ces milieux contiennent essentiellement des agents sélectifs (sels biliaires et colorants p. ex.), des sucres notamment du lactose, des sels permettant de révéler la production de sulfure d'hydrogène (SH_2) et des indicateurs de pH (milieu

Hectoen par exemple). Les sels biliaires inhibent également les flores d'accompagnement et favorisent les salmonelles.

2.4.2.4. L'identification biochimique et sérologique

Les colonies caractéristiques (H₂S +) sont repiquées au moins 5 fois, et il est procédé à l'étude des caractères biochimiques essentiels. L'identification biochimique des Salmonelles se fait grâce à l'utilisation d'un ensemble de milieux de culture appelé galerie d'identification. Les Salmonelles possèdent les caractères généraux de la famille des *Enterobacteriaceae*. Sept caractères définissent cette famille : Bacilles Gram négatif, immobiles ou mobiles à ciliature péritriche, cultivent sur milieu ordinaire, aéro-anaérobies facultatifs, fermentent le glucose avec ou sans production de gaz, réduisent les nitrates en nitrites, donnent une réaction à l'oxydase négative et possèdent une catalase.

D'autres caractères biochimiques permettent de différencier Les Salmonelles des autres Entérobactéries.

Tableau III: Milieux de cultures et conditions d'incubation des germes recherchés.

<i>Bactéries</i>	<i>Milieux</i>	<i>Incubation</i>
Coliformes fécaux ou Thermotolérants	Gélose VRBL (gélose lactosée biliée au cristal violet et au rouge neutre)	44°C / 24h
Streptocoques fécaux	Gélose biliée à l'esculine et à l'azide de sodium (BEA)	37°C / 48h
Salmonelles	- Eau peptonnée tamponnée	37°C /24h
	- Bouillon au sélénite de sodium	
	- Gélose Hectoen	37°C /24 h
	- Gélose Salmonelle-Shigelle	37°C /24 h
	- Galerie API 20E	37°C /24 h
	- Enterotube II	37°C /24 h
Shigelles	Gélose <i>Salmonelle-Shigelle</i>	37°C / 48 h

Vibrio Cholera	- Gélose TCBS - Galerie API 20E	37°C / 24 h
----------------	------------------------------------	-------------

2.5. Vérification de la méthode de chloration

Sur la base des informations recueillies auprès des responsables de la station sur la chloration des effluents avant rejet, nous avons effectué des tests de vérification. Il consiste à ajouter à l'effluent filtré trois doses différentes d'Hypochlorite de calcium (4 g / m³, 6 g / m³, 8 g / m³, 10 g / m³) et d'observer un temps de contact de 30 minutes. Ces trois échantillons sont ensemble analysés en présence de l'échantillon témoin qui n'a pas reçu de dose de chlore.

Les germes recherchés sont les coliformes fécaux et les Streptocoques fécaux.

TROISIEME PARTIE : RESULTAS ET DISCUSSIONS

Les méthodes d'analyses utilisées ont donné les résultats consignés dans les différents tableaux ci-dessous. Le tableau 4 correspond à la synthèse de tous les résultats des coliformes fécaux.

Tableau IV : Synthèse des résultats des Coliformes fécaux par 100 ml

Date de prélèvement	Eau dessablée 1	ancien décanteur primaire 2	nouveau décanteur primaire 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
13/05/2006	$4,80 \cdot 10^7$	$4,10 \cdot 10^7$	$1,85 \cdot 10^7$	$3,45 \cdot 10^6$	–	$7,5 \cdot 10^5$
20/05/2006	$9,95 \cdot 10^7$	$6,20 \cdot 10^7$	$1,80 \cdot 10^7$	$1,485 \cdot 10^7$	$2,1 \cdot 10^6$	$3,8 \cdot 10^6$
23/05/2006	$2,690 \cdot 10^8$	$1,510 \cdot 10^8$	$8,70 \cdot 10^7$	$2,50 \cdot 10^7$	$1,44 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^6$
27/05/2006	$1,040 \cdot 10^8$	$5,85 \cdot 10^7$	$5,20 \cdot 10^7$ *	$2,15 \cdot 10^7$ *	$5,2 \cdot 10^6$	$9,00 \cdot 10^2$
30/05/2006	$1,36 \cdot 10^8$	$7,1 \cdot 10^7$	$4,1 \cdot 10^7$	$2,7 \cdot 10^7$	$1,38 \cdot 10^7$	$4,5 \cdot 10^6$
03/06/2006	$2,17 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^7$	$4,7 \cdot 10^7$	$3,8 \cdot 10^7$	$9,2 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$
20/10/2006	$1,76 \cdot 10^8$	$8,6 \cdot 10^7$	$4,6 \cdot 10^7$	$4,4 \cdot 10^6$	$6 \cdot 10^3$	$1,01 \cdot 10^5$
13/03/2007	$1,08 \cdot 10^8$	$4,9 \cdot 10^7$	$2,2 \cdot 10^7$	$3,6 \cdot 10^4$	$9,2 \cdot 10^3$	$1,80 \cdot 10^5$
14/03/2007	$8,4 \cdot 10^7$	$5,7 \cdot 10^7$	$1,9 \cdot 10^7$	$4,2 \cdot 10^4$	$1,20 \cdot 10^5$	$1,50 \cdot 10^5$
20/03/2007	$2,0 \cdot 10^7$	$1,8 \cdot 10^7$	$8 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^4$	00

* Présence de *Shigella flexneri*

Les coliformes fécaux et les streptocoques fécaux sont fortement présents à la sortie du poste de dessablage. On constate une diminution de ces deux paramètres au cours du traitement.

Cependant, cette baisse n'est pas constante surtout entre le filtre à sable et le poste de chloration. A ce stade du traitement, les indicateurs de pollution qui devaient normalement subir une diminution remarquable voire une absence, après chloration, connaissent malheureusement une hausse. Cela traduit des manquements dans le traitement puisqu'au dernier point de traitement (chloration), l'objectif est de débarrasser les effluents du maximum de contamination bactérienne.

La différence de valeurs trouvées au niveau du poste de dessablage est due au fait que les eaux usées sont d'origines diverses et par conséquent de nature différente. Ses paramètres vont à tout moment subir des variations selon leur provenance.

Sur l'ensemble des analyses effectuées à partir des échantillons prélevés après la décantation primaire, on constate que le traitement semble meilleur au niveau du nouveau décanteur primaire qu'au niveau de l'ancien décanteur primaire. Cependant, il faut noter que les résultats obtenus ne sont pas satisfaisants par rapport à la norme en vigueur qui est de 2 000 Coliformes fécaux / 100 mL et 1 000 Streptocoques fécaux par 100 mL. Malgré la forte présence des indicateurs de pollution fécale, les effluents traités au niveau du nouveau décanteur primaire sont directement déversés en mer après chloration.

Une souche de *Shigella flexneri* a été isolé au niveau du nouveau décanteur primaire et du clarificateur. C'est la seule souche pathogène qui a été isolé durant les dix campagnes de prélèvement. Sur les autres points de prélèvement, la souche n'a pas été isolée malgré le même matériel et la même méthodologie utilisés. On note une absence de *Salmonella* et de *Vibrio cholerae* dans la totalité des échantillons.

La rareté des germes pathogènes pourrait s'expliquer par le fait que les conditions environnementales peuvent ne pas être favorables à leur développement. Selon BOUTIN (1987) cité par CAUCHI (en 1996), la plupart

des bactéries pathogènes ne peuvent pas vivre au-delà de 2 à 3 semaines dans le milieu extérieur, quand la température est entre 20 et 30°C.

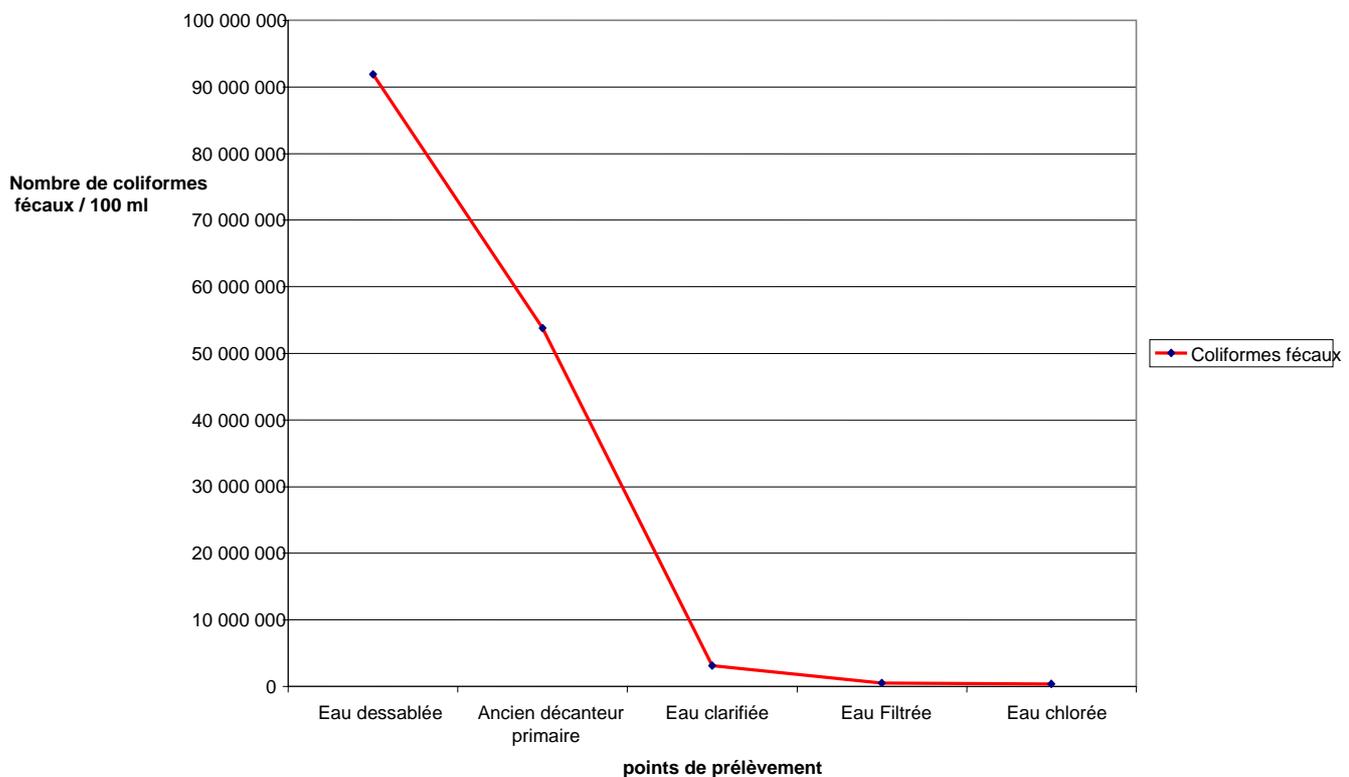
Les micro-organismes pathogènes sont le plus souvent adaptés aux conditions régnant dans le corps humain, c'est pourquoi leur survie est souvent limitée de quelques jours à quelques semaines dans le milieu extérieur. Elle dépend à la fois des caractéristiques des micro-organismes (certains sont plus résistants que d'autres) et des conditions du milieu extérieur : pH, température, ensoleillement, etc. Dans des conditions favorables, les pathogènes peuvent survivre plusieurs semaines, voire plusieurs mois sur le sol, sur les plantes ou dans l'eau (CAUCHI en 1996).

Tableau V : Moyenne géométrique des Coliformes fécaux

	Eau dessablée	Ancien décanteur primaire	Eau clarifiée	Eau Filtrée	Eau chlorée
Coliformes fécaux	91 911 813	53 820 227	3 161 078	492 961	411 846

A partir des résultats obtenus aux différents niveaux de prélèvement, les moyennes géométriques sont calculées. Ces moyennes ont permis de tracer une courbe (fig. 8) montrant l'évolution des coliformes thermotolérants au cours du traitement.

Figure 8: Représentation graphique des résultats des coliformes au cours du traitement



La courbe d'évolution des coliformes fécaux au cours du traitement montre une diminution significative entre le bassin de dessablage et le

clarificateur. Du clarificateur au poste de chloration, la baisse du nombre de bactéries est moins significative.

Cependant, le constat général est une forte présence de flore fécale après le dessablage et la décantation primaire.

De manière générale, la décantation est peu efficace pour assurer l'élimination de la pollution microbiologique d'origine fécale. Selon une étude menée par DUPRAY et al. (en 1990), à une exception près, les taux d'abattement mesurés varient entre 13 et 55%, ce qui est tout-à-fait en accord avec les valeurs trouvées (10 à 60%) dans une étude de OMURA et al. en 1989.

D'après AUDIC (1990), ces taux sont fonction de l'efficacité des décanteurs à piéger les particules, donc très dépendants de la géométrie de l'ouvrage, de la vitesse de décantation, du temps de séjour des masses d'eaux usées et dépendent également de la qualité de l'eau brute (bactéries libres ou fixées aux particules etc.)

L'élimination des germes indicateurs par la décantation primaire résulte donc essentiellement de l'attachement d'une importante fraction des coliformes aux matières en suspension (MES) dans les effluents bruts.

Dans la même étude, AUDIC (1990) note que l'épuration biologique est donc le traitement qui assure l'essentiel de l'élimination des bactéries indicatrices de contamination fécale. Selon toujours Audi, le traitement des eaux usées en STEP réduit globalement de 1 à 3 log₁₀ les concentrations de coliformes fécaux dans les effluents.

En définitive, la décantation primaire s'avère un processus peu efficace pour éliminer les germes indicateurs des effluents; c'est le traitement biologique (traitement secondaire) et/ou tertiaire qui assure l'essentiel de l'épuration microbiologique.

Tableau VI: Synthèse des résultats des Streptocoques fécaux par 100 mL

Date de prélèvement	Eau dessablée 1	ancien décanteur primaire 2	nouveau décanteur primaire 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
13/05/2006	8,25. 10 ⁶	2,75. 10 ⁶	2,4 10 ⁶	1. 10 ⁶	-	3,5 10 ⁴

20/05/2006	9,3 10 ⁶	3,45. 10 ⁶	3,85. 10 ⁶	4,4. 10 ⁵	7,9. 10 ⁴	2,3. 10 ⁵
23/05/2006	1,65 10 ⁷	7,8 10 ⁶	6,15 10 ⁶	5,05 10 ⁵	1,3 10 ⁵	7,85 10 ⁴
27/05/2006	5,85. 10 ⁶	1,75. 10 ⁶	2,45. 10 ⁶ *	4,1. 10 ⁵ *	1,1 10 ⁵	1,41 10 ⁴
30/05/2006	1,11. 10 ⁷	4,3. 10 ⁶	3. 10 ⁶	9. 10 ⁵	1,9 10 ⁵	1,2. 10 ⁵
03/06/2006	1,65. 10 ⁷	2,85.10 ⁶	2. 10 ⁶	9. 10 ⁵	2,35 10 ⁵	2,9. 10 ⁴
20/10/2006	5,2. 10 ⁶	2,9. 10 ⁶	2,9. 10 ⁶	2,1. 10 ⁵	1 10 ⁵	3 10 ²
13/03/2007	4. 10 ⁶	3. 10 ⁶	1. 10 ⁶	1,6. 10 ⁴	6 10 ²	1,1. 10 ⁴
14/03/2007	5. 10 ⁶	3. 10 ⁶	3. 10 ⁶	2. 10 ⁴	1,3 10 ⁴	1,3. 10 ⁴
20/03/2007	1. 10 ⁷	4. 10 ⁶	3. 10 ⁶	4,3. 10 ⁴	1 10 ³	00

* Présence de *Shigella flexneri*

Tableau VII: Moyenne géométrique des Streptocoques fécaux au cours du traitement

	Eau dessablée	Ancien décanteur primaire	Eau clarifiée	Eau Filtrée	Eau chlorée
Streptocoques fécaux	8 218 143	3 326 058	215 221	32 400	22 238

Figure 9 : Représentation graphique des résultats des Streptocoques fécaux au cours du traitement

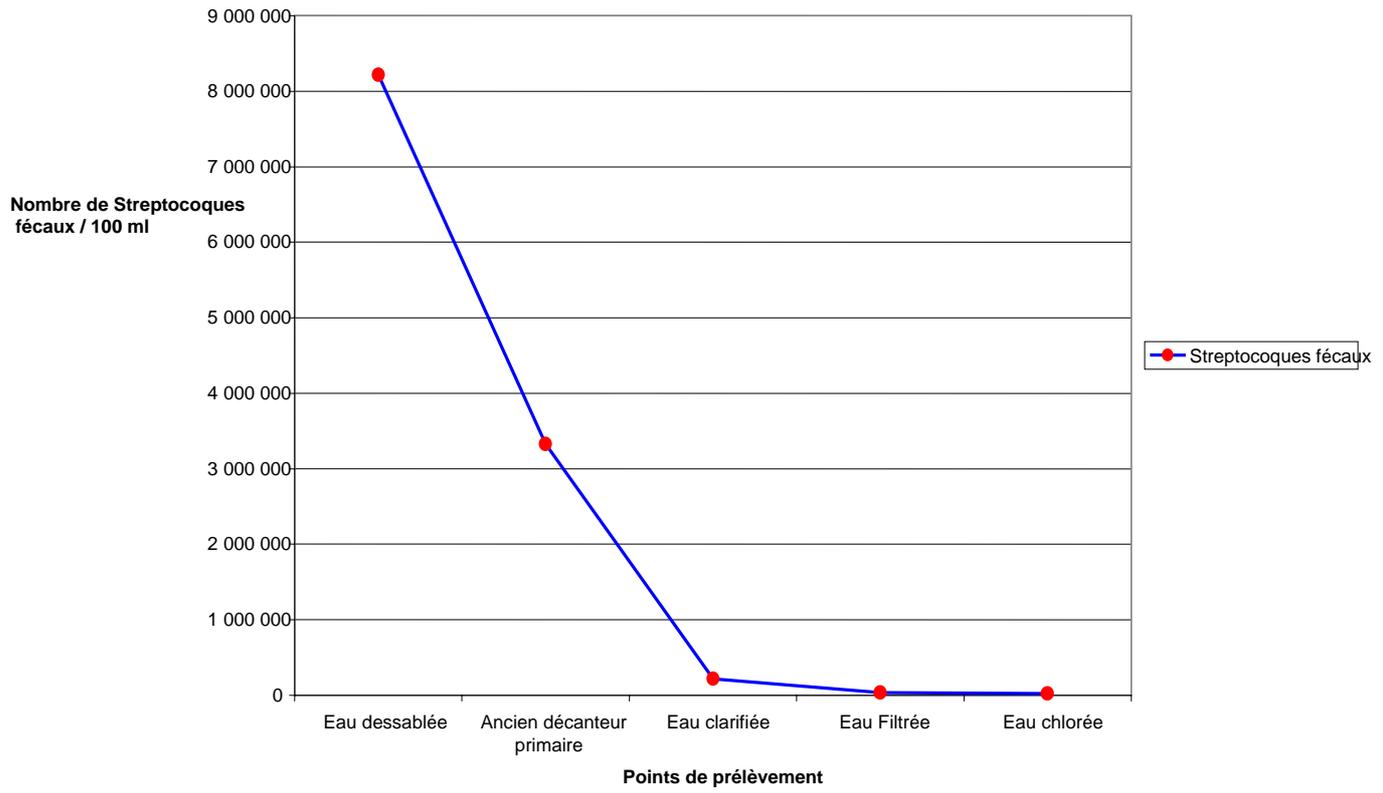
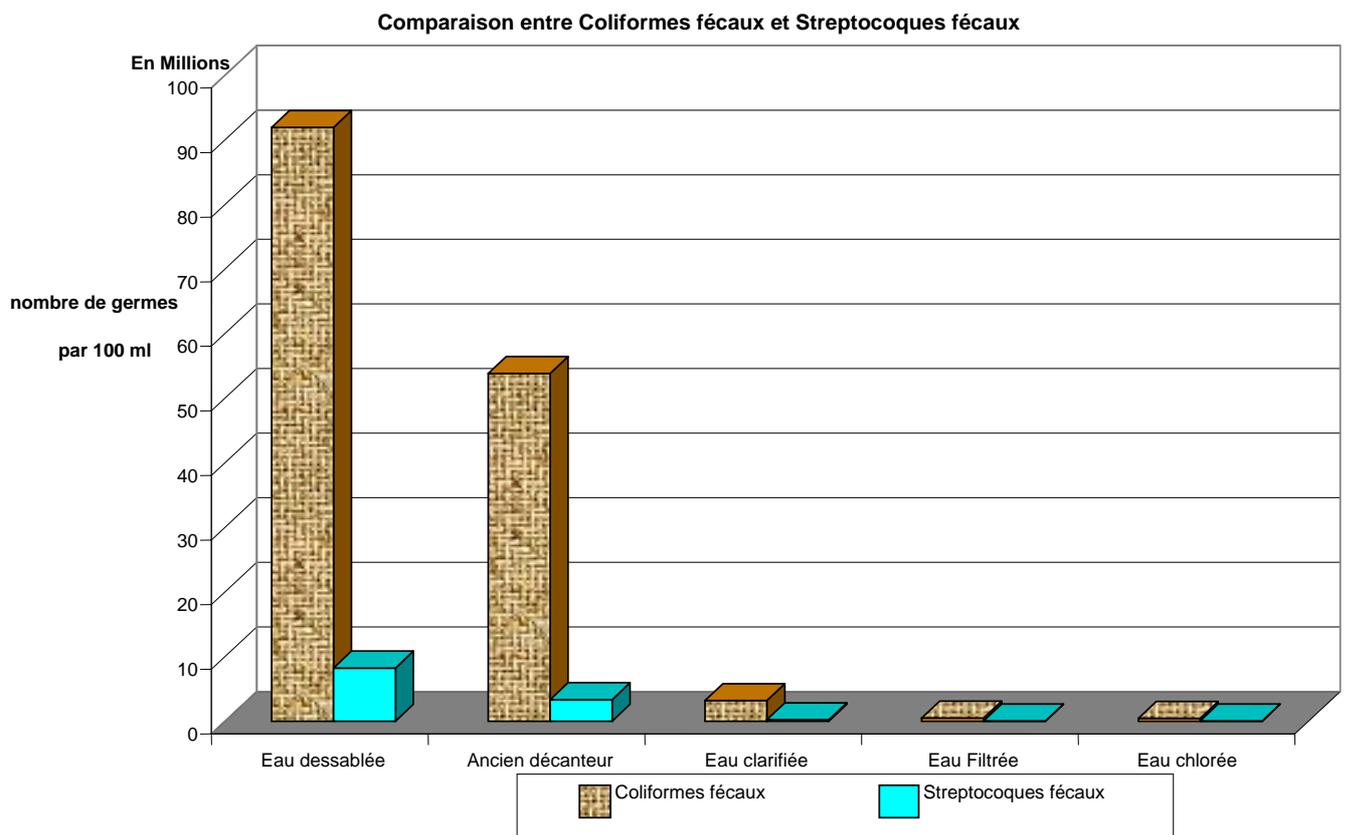


Tableau VIII : Moyenne géométrique des indicateurs de pollution fécale

	Eau dessablée	Ancien décanteur primaire	Eau clarifiée	Eau Filtrée	Eau chlorée
Colif fécaux	91 911 813	53 820 227	3 161 078	492 961	411 846
Strepto. fécaux	8 218 143	3 326 058	215 221	32 400	22 238

Figure 10 : Comparaison entre Coliformes fécaux et Streptocoques fécaux au cours du traitement



La figure 10 représente une étude comparative des deux principaux indicateurs de pollution fécale au niveau des étapes suivantes: sortie dessableur (1), sortie ancien décanteur primaire (2), sortie clarificateur (4), après filtration (5) et enfin après chloration (6).

Les différents niveaux de prélèvement sont représentés sur l'axe des abscisses et sur l'axe des ordonnées est représenté le nombre de germes (Coliformes et Streptocoques). Il ressort de ces résultats que le nombre de coliformes fécaux est toujours supérieur au nombre de Streptocoques fécaux. Les deux paramètres subissent une baisse remarquable au cours du même traitement.

Selon RODIER J. (1996), le dénombrement des streptocoques fécaux présumés est souvent effectué corollairement au dénombrement des coliformes fécaux présumés. Cependant, d'une façon générale, les concentrations en streptocoques fécaux sont, dans les milieux naturels autres que spécifiquement pollués par le bétail, inférieures à celles des coliformes fécaux. Cette différence des concentrations peut être évaluée par un rapport variant de 1 à 4 dans les choix des prises d'essai (RODIER J., 1996).

Lors de la dernière étape du traitement, les effluents subissent une chloration. L'objectif de la chloration étant de débarrasser les effluents des bactéries de façon générale, il convient de souligner la forte présence de germes à ce niveau de traitement. Cela est probablement dû à l'application d'une faible dose de chlore ou à une inconstance dans l'ajout du chlore. Cependant, lors de la dernière campagne de prélèvement, on a noté une absence de coliformes et de streptocoques fécaux.

Selon les informations recueillies auprès des responsables de la station, la chloration s'effectue manuellement du fait de l'état défectueux de la pompe doseuse. La désinfection s'effectue par ajout de 10 grammes d'Hypochlorite de calcium dans 1 m³ d'effluent avant le rejet.

Les analyses réalisées au laboratoire sur un échantillon d'effluent prélevé après filtration selon différentes concentrations de chlore ont donné les résultats mentionnés dans le tableau IX.

Tableau IX : Test d'efficacité du chlore sur un échantillon d'effluent prélevé au poste de chloration.

DOSE de Ca (ClO) ₂ g/ m ³	4 g/ m ³	6 g/ m ³	8 g/ m ³	10 g/ m ³	Echantillon sans Ca (ClO) ₂
Coliformes fécaux / 100 ml	00	00	00	00	41. 10 ³
	00	00	00	00	37. 10 ³
	00	00	00	00	39. 10³
Streptocoques fécaux / 100 ml	00	00	00	00	27. 10 ²
	00	00	00	00	35. 10 ²
	00	00	00	00	31. 10²

Une partie de l'échantillon qui a servi de témoin n'a pas été traitée à l'hypochlorite de calcium. Le temps de contact entre l'hypochlorite de calcium et l'effluent est de 30 minutes.

On constate une absence d'indicateurs de pollution fécale dans les quatre essais. Il convient alors d'en déduire que les 4 doses appliquées sont efficaces.

Ainsi, il convient de revoir la méthode de chloration appliquée au niveau du poste de chloration. Les essais de chloration réalisés au laboratoire ont montré que la dose d'hypochlorite de calcium (10 grammes pour 1 m³) est suffisante pour éliminer les germes présents dans les effluents après filtration.

Notre étude s'est également intéressée à la corrélation entre germes indicateurs de pollution fécale et germes pathogènes.

Les manipulations effectuées dans le cadre de cette étude ne nous ont pas permis de démontrer la même corrélation. Cependant, une étude beaucoup plus détaillée et plus durable pourrait montrer cette corrélation à la station d'épuration des eaux de Cambérène.

IV. CONCLUSION

La gestion des eaux usées au Sénégal constitue un réel problème environnemental. L'utilisation des eaux usées non traitées ou ayant subi un mauvais traitement a des impacts sur la santé des populations utilisatrices notamment les jardiniers, les horticulteurs et les consommateurs du fait de la pollution biologique qui est essentiellement microbienne.

Les organismes microbiens responsables de ces infections ont pour nom : agents pathogènes (Salmonelles, Shigelles, Vibrions...) ou agents indicateurs de pollution (coliformes fécaux, streptocoques fécaux ...)

Ce travail a consisté d'une part à étudier la présence d'indicateurs de pollution (coliformes fécaux et streptocoques fécaux) au niveau des différents postes de traitement et d'autre part à vérifier l'éventualité d'une corrélation entre germes indicateurs de pollution fécale et germes pathogènes.

Nous avons également effectué des essais de chloration sur un échantillon d'effluent recueilli après le traitement par le filtre à sable afin de vérifier l'efficacité de la dose de chlore appliquée au traitement.

Nous avons effectué dix campagnes de prélèvement soit 60 échantillons sur lesquels nous avons réalisé les analyses qui ont abouti aux différents résultats obtenus.

Les principaux résultats obtenus révèlent une absence de germes pathogènes dans les échantillons sauf lors de la troisième campagne où nous avons identifié une souche de *Shigella flexneri* au niveau du nouveau décanteur primaire et du clarificateur. Cette souche n'a pas été identifiée dans les étapes de traitement suivantes.

L'ensemble des résultats se caractérise par une absence de salmonelles et de vibrions cholériques.

Les indicateurs de pollution fécale sont fortement présents dans les différents postes de traitement. Cependant au niveau des postes de rejet, les valeurs limites tolérées sont dépassées. On constate également qu'après le poste

de chloration, la flore fécale connaît une hausse malgré une absence de germes pathogènes.

Cela pourrait s'expliquer par une multiplication de la flore présente dans l'eau après filtration. Ainsi, l'efficacité de la chloration au niveau de la bêche de chloration. Pourrait être remise en cause

Une vérification du système de chloration effectuée au laboratoire, par l'application de dose d'hypochlorite de calcium à 10 grammes par m³ d'eau filtrée aboutit à une absence totale de coliformes fécaux et de streptocoques fécaux. Cela nous permet d'affirmer que la méthode manuelle d'application de la chloration au niveau du point de rejet connaît une défaillance.

Cependant, une corrélation entre germes indicateurs de pollution et germes pathogènes ne semble pas se vérifier dans nos résultats d'où l'on pouvait penser à une insuffisance du nombre d'échantillons et fort bien à la courte durée impartie à ce travail. Ceci pourrait faire l'objet d'un travail beaucoup plus approfondi.

L'importance du risque étant lié essentiellement à celle de la contamination fécale, le niveau de celle-ci est habituellement apprécié par la recherche et le dénombrement des germes "témoins de contamination fécale", microorganismes spécifiques du milieu fécal où ils sont abondants. Les germes témoins de contamination fécale indiquent donc, par leur présence dans une eau, la probabilité mais non la certitude d'une contamination par des pathogènes de même origine.

V. BIBLIOGRAPHIE

1. ASN, 2002; NS 05-024 : Qualité de l'eau: Recherche et dénombrement de streptocoques fécaux - Méthode par filtration sur membrane. 8P. (EQV ISO7899/2)
2. ASN, 2002; NS 05-044 : Qualité de l'eau: Recherche et dénombrement des organismes coliformes, des organes coliformes thermotolérants et des Escherchia coli présumés. Méthode de filtration par membrane (EQV ISO 9308-1).
3. AUDIC, J.M. (1990). Evolution des technologies d'élimination des microorganismes. In: IFREMER - actes de colloques, vol 11 , 133-148.
4. CAUCHI M., (1996) ; Dossier : la réutilisation des eaux usées après épuration. Techniques, Sciences et Méthodes, 1996, P. 81-118.
5. Code de l'Environnement du Sénégal, (2001) ; La loi N° 2001-01 du 15 janvier 2001 portant code de l'Environnement.
6. CSHPF, (1995); Recommandations sanitaires,. relatives à la désinfection des eaux usées urbaines, Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France Section des eaux.
7. DIOP B. S., (2002) ; Les écosystèmes aquatiques et semi aquatiques dans l'épuration des eaux usées domestiques et urbaines par mosaïques hiérarchisées d'écosystèmes artificiels en Afrique tropicale sèche (Thèse de 3ème cycle).
8. DUPRAY, E., B. Baleux, J.L. Bonnefont, C. Guichaoua, M. Pommepey, and A. Derrien. (1990). Apport en bactéries par les stations d'épuration. In: *IFREMER- actes de colloque*, vol 11, 81-88.

9. EMPEREUR-BISSONET P. et SALZMAN V., (1988) ; Recherche de techniques améliorant la qualité de l'eau de boisson, Bulletin de liaison du CIEH n° 73, Ouagadougou.
10. FALL C. (1992) Communication orale lors de la semaine de l'IFAN
11. FAUCHERE J-L, AVRIL J-L; (2002) ; Bactériologie générale et médicale, éditions Ellipses, Dépôt légal. Pages (242-249)
12. GAYE M. et NIANG S., (2002). Epuration extensive des eaux usées pour leur réutilisation dans l'agriculture urbaine : des technologies appropriées en zone sahélienne pour la lutte contre la pauvreté.
13. GELDREICH E. E., (1970); "Applying bacteriological parameters to recreational water quality". J. am. water works Assoc. 62 : 113-120
14. HASLEY C., LECLERC H., (1993) ; Microbiologie des eaux d'alimentation, (PP 76 à 84).
15. KOUNDI A., (2002) Les performances des procédés de traitement des eaux usées et les objectifs. Les journées scientifiques de l'INRGREF sur la valorisation des eaux salées et usées traitées en agriculture. Hammamet.
16. LAHSEN OUHDDOU ABABOUCH/ Assurance de la qualité en industrie halieutique, Actes Editions, Rabat, 1995, PP 133, 134, 155)
17. MBEGUERE M., (2002); traitement des eaux usées domestiques et urbaines par voie naturelle sous climat tropical : Etude des

performances épuratoires de cinq écosystèmes artificiels terrestres au sein de Mosaïques Hiérarchisées d'Ecosystèmes Artificiels. (Thèse de 3ème cycle, pp 8 – 11).

18. MENON. A. S. (1985); « Salmonella and pollution indicator bacteria in municipal and food processing effluents and the Conwallis River ». Can. J. Microbiol. 31: 598 – 603.
19. NIANG S. (1995). Evacuation et traitement des eaux usées urbaines à Dakar. Bilan de la situation, comportement des populations et perspectives d'avenir. Thèse de troisième cycle en sciences de l'environnement, Institut des Sciences de l'Environnement, Faculté des Sciences et Techniques, Université Cheikh Anta Diop de Dakar, Thèse N° 114, 108 p.
20. OMURA T., Onuma M., Aizawa J., Umita T. and T.Yagi. (1989). Removal efficiencies of indicator microorganisms in sewage treatment plants. Water Science and Technology. 21(3), 119-124.
21. PAYMENT, P. (2006) Enlèvement des micro-organismes pathogènes et des bactéries indicatrices par les stations de traitement des eaux usées municipales situées sur la rivière des Mille-Îles, Vecteur Environnement, vol. 39, no 2, mars 2006, pp. 60-72.
22. RODIER Jean, (1996) ; Analyse de l'Eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer, 8 ème edition, DUNOD, 1996, PP 794
23. SEYFRIED, C.F., (1977); Séparation des matières solides dans l'épuration biologique, Graz,.

24. SPRINGER-VERLAG, (1990) ; Technologie des eaux résiduaires ;
production, collecte, traitement et analyses des eaux résiduaires,
(PP. 12 – 24)

25. SUTRA L., FEDERIGHI M. (1998) ; Manuel de Bactériologie
alimentaire (PP. 9 à 11).

26. Wikipédia, 2006, wikipedia.org/wiki/2005

VI. ANNEXES (Les méthodes d'analyses)

ANNEXE.1 : Isolement et identification des Salmonelles

L'isolement et l'identification des Salmonelles comportent plusieurs étapes.

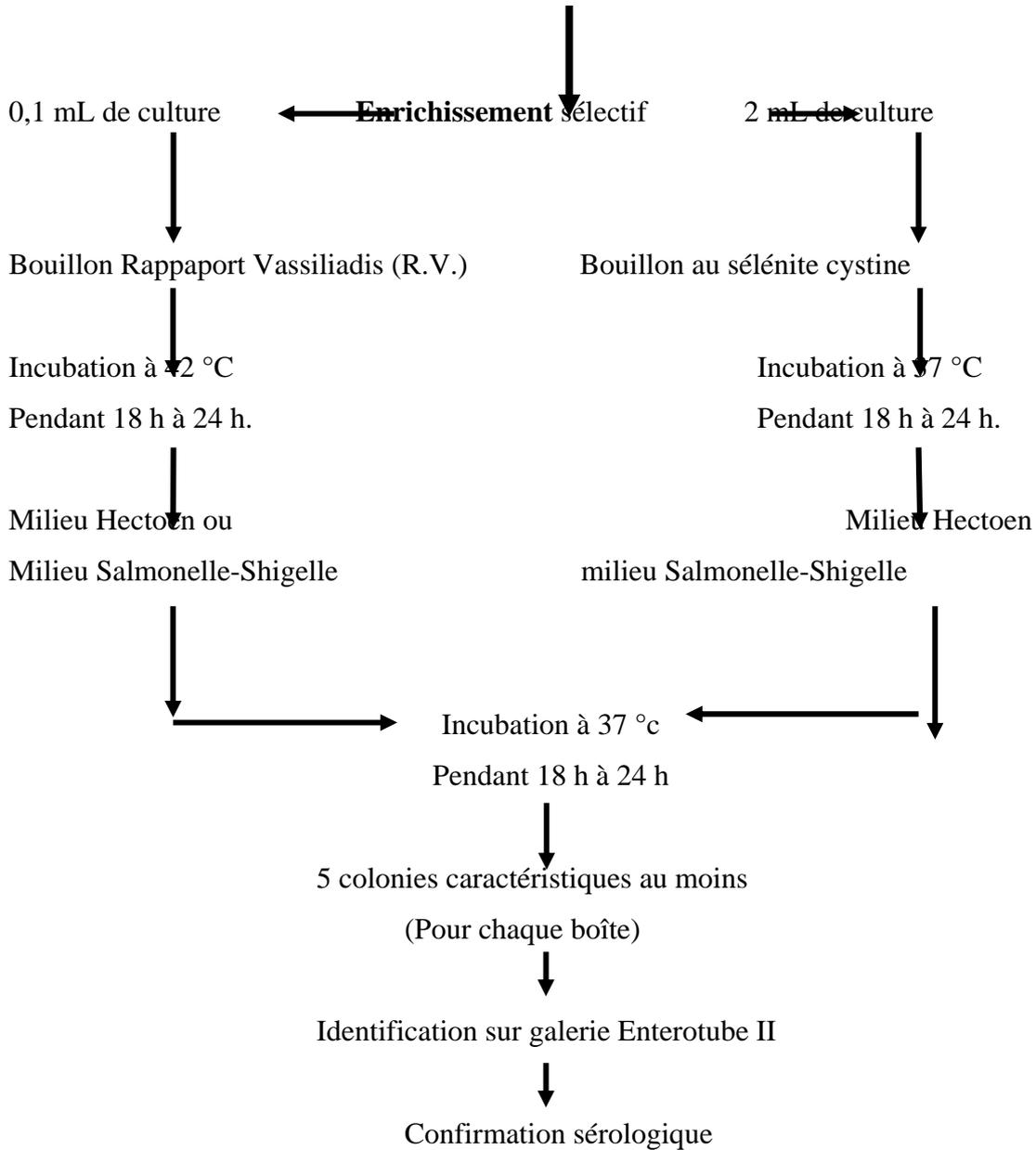
- **Le pré-enrichissement** qui correspond généralement à une phase de multiplication de l'ensemble des germes contenus dans les produits. Le milieu de culture utilisé est l'eau peptonée tamponnée.
-
- **L'enrichissement** : C'est la phase pendant laquelle le développement des salmonelles est favorisé au détriment des bactéries Gram (+) et d'autres entérobactéries. C'est une phase sélective. Le milieu de culture utilisé est le bouillon sélénite-cystine qui est sélectif.
- **L'isolement** : La gélose Hectoen utilisée, est destinée à l'isolement des entérobactéries. Ce milieu permet de distinguer les colonies de bactéries capables de dégrader le lactose des autres colonies lactose (-) à l'instar des salmonelles et des shigelles. Les colonies verdâtres à centre noir (SH2 +) sont suspectées être des salmonelles.
- **L'identification** : Grâce à l'utilisation d'une galerie d'identification Enterotube il est possible d'identifier une souche de salmonelle.
- **La confirmation** : La confirmation par des tests sérologiques vient en complément à l'identification par galerie Enterotube II.

Schéma du mode opératoire

Prise d'essai 25 mL + 225 mL Eau peptonée tamponnée

Milieu de **préenrichissement**

Incubation à 37 °C pendant 16 h à 20 h



ANNEXE 2 : Milieux de culture

ANNEXE 2.1 : V.R.B.L. (conforme à la norme NF V 08-14)

Définition

Milieu sélectif utilisé pour le dénombrement des coliformes dans les produits alimentaires et les eaux

Formule (en grammes par litre d'eau distillée)

Peptone	7
Extrait de levure	3
Chlorure de sodium (NaCl)	5
Sels biliaries	1,5
Lactose	10
Rouge neutre	0,03
Cristal Violet	0,002
Agar	11

PH final = 7,4 +/- 0,2

Principe

Le principe du milieu repose sur l'aptitude des coliformes à fermenter le lactose. Le milieu est rendu inhibiteur vis-à-vis des bactéries Gram positives et de certaines bactéries Gram négatives par la présence simultanée de cristal violet et de sels biliaries.

ANNEXE 2.2 : B.E.A. (conforme à la norme NF V 08-14)

Définition

Ce milieu solide est utilisé pour la différenciation des streptocoques du groupe D (entérocoques en particulier).

Les streptocoques des autres groupes, les Staphylocoques et la plupart des bactéries Gram négatif ne cultivent pas sur ce milieu.

Formule (en grammes par litre d'eau distillée)

Peptone trypsine de caséine	17
Peptone pepsique de viande	3
Extrait de levure	5
Bile de bœuf	10
Chlorure de sodium	5
Esculine	1
Citrate de sodium	1
Citrate de fer ammoniacal	0,50
<i>Azide de sodium</i>	<i>0,25</i>
Agar	15

PH final = 7,1

Principe

Sur ce milieu les streptocoques du groupe D sont facilement reconnaissables : ils donnent de petites colonies translucides entourées d'un halo noir très net. Seules les Listeria peuvent donner des colonies assez semblables.

ANNEXE 2.3 : EAU PEPTONÉE TAMPONÉE

(conforme à la norme NF V 08-14)

Définition

C'est un milieu d'enrichissement liquide non sélectif et servant également de diluant

Formule (en grammes par litre d'eau distillée)

Digestat enzymatique de caséine	10
Chlorure de sodium	5
Hydrogénophosphate disodique	9
Dihydrogénophosphate de potassium	1,5

PH final = 7,4

ANNEXE 2.4 : SELENITE-CYSTINE (conforme à la norme NF V 08-14)

Définition

Milieu d'enrichissement sélectif pour la recherche des salmonelles dans les produits alimentaires et dans les selles.

Formule (en grammes par litre d'eau distillée)

Tryptone	5
Lactose	4
Na ₂ HPO ₄ , 12 H ₂ O	10
L-cystine	0,01
Bisélenite de sodium	4

PH final = 7,0

Principe

Le principe du milieu repose sur l'aptitude des salmonelles à se développer en présence de sélénite, ce dernier inhibant la présence des autres bactéries.

ANNEXE 2.5 : HECTOEN (conforme à la norme NF V 08-14)

Définition

Milieu utilisé pour l'isolement des entérobactéries et la différenciation des entérobactéries pathogènes dans les produits alimentaires, les eaux et les produits non obligatoirement stériles de la pharmacopée.

Formule

Protéose peptone	12	
Extrait de levure	3	
Chlorure de sodium	5	
Thiosulfate de sodium	5	
Sels biliaires	9	
Citrate de fer ammoniacal	1,5	
Salicine	2	
Lactose	12	
Saccharose	12	
Fuschine acide	0,1	
Bleu de bromothymol	0,065	
Agar	13	(PH final = 7,5 +/- 0,2)

Principe

Le principe du milieu repose sur l'aptitude ou l'incapacité des entérobactéries à fermenter trois sucres : le lactose, le saccharose, la salicine.

Deux indicateurs permettent de visualiser la réaction : le bleu de bromothymol qui vire au jaune à l'acidité et la fushine qui se colore en présence d'aldéhyde. Une différenciation supplémentaire reposant sur la production d'hydrogène sulfuré est possible grâce à la présence de thiosulfate de sodium et de citrate de fer.

Elle se traduit par des colonies à centre noir, coloration due à la formation de sulfure de fer.

Le milieu est rendu inhibiteur vis-à-vis des bactéries Gram (+) par les sels biliaires.

ANNEXE .2.6 :BBL Enterotube II 273176

Enterotube BBL est un système prêt à l'emploi pour l'identification différentielle des entérobactéries. Une aiguille traverse l'ensemble du tube stérile en matière plastique pour réaliser l'ensemencement complet du système comprenant 12 milieux spécifiques qui permettent de mettre en évidence simultanément 15 caractères biochimiques. Tous les compartiments sont ensemencés en une seule manipulation et l'interprétation des résultats s'effectue après 24 heures d'incubation à 37 ° C.

On note chaque réaction positive en entourant le chiffre correspondant sur la fiche d'interprétation. En additionnant les chiffres entourés d'un cercle, on inscrit leur somme dans le cadre figurant sous chaque flèche (0 à 7 au maximum). On obtient un numéro à 5 chiffres formé par l'ensemble des 5 cadres. Grâce à un catalogue, on identifie facilement le genre ou l'espèce. La confirmation est réalisée par un test sérologique.

ANNEXE 3 : Résultats par campagne

ANNEXE 3.1. Résultats microbiologiques de la 1^{ère} campagne (13/05/ 06)

	Eau dessablée		ancien décanteur		nouveau décanteur		Eau clarifiée		Eau filtrée		Eau chlorée	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Coliformes fécaux / 100 mL	4,7. 10 ⁷	4,9 10 ⁷	3,6 10 ⁷	4,6. 10 ⁷	1,5. 10 ⁷	2,2. 10 ⁷	3,7 10 ⁶	3,2 10 ⁶	-	-	7,8. 10 ⁵	7,8. 10 ⁵
	4,80. 10 ⁷		4,10. 10 ⁷		1,85. 10 ⁷		3,45. 10 ⁶				7,5. 10 ⁵	
Streptocoques fécaux / 100 mL	7,9 10 ⁶	8,6 10 ⁶	2,8 10 ⁶	2,7 10 ⁶	1,8 10 ⁶	3. 10 ⁶	4. 10 ⁵	1,6 10 ⁶			4,4 10 ⁴	2,6 10 ⁴
	8,25. 10 ⁶		2,75. 10 ⁶		2,4. 10 ⁶		1. 10 ⁶				3,5. 10 ⁴	
Salmonelle / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	
Shigelles / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	

ANNEXE.3.2 : Résultats microbiologiques de la 2^{ème} campagne (20/05/ 06)

	Eau dessablée		ancien décanteur		nouveau décanteur		Eau clarifiée		Eau filtrée		Eau chlorée	
	1		2		3		4		5		6	
Coliformes fécaux / 100 mL	9,1. 10 ⁷	10,8. 10 ⁷	5,9. 10 ⁷	6,5. 10 ⁷	1,6. 10 ⁷	2. 10 ⁷	1,34 10 ⁷	1,63 10 ⁷	1,9 10 ⁶	2,3 10 ⁶	4,3 10 ⁶	3,3 10 ⁶
	9,95 10 ⁷		6,20 10 ⁷		1,80 10 ⁷		1,485. 10 ⁷		2,1 10 ⁶		3,8 10 ⁶	
Streptocoques fécaux / 100 mL	9,2 10 ⁶	9,4 10 ⁶	3,8 10 ⁶	3,1 10 ⁶	3,2 10 ⁶	4,5 10 ⁶	4,3 10 ⁵	4,5. 10 ⁵	7,5. 10 ⁴	8,3 10 ⁴	1,7. 10 ⁵	2,9 10 ⁵
	9,3 10 ⁶		3,45. 10 ⁶		3,85. 10 ⁶		4,4. 10 ⁵		7,9. 10 ⁴		2,3. 10 ⁵	
Salmonelle / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	
Shigelles / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	

ANNEXE.3.3 : Résultats microbiologiques de la 3^{ème} campagne (23/05/ 06)

	Eau dessablé1		ancien décanteur 2		nouveau décanteur 3		Eau clarifiée 4		Eau filtrée 5		Eau chlorée 6	
	Coliformes fécaux / 100 mL	2,83 . 10 ⁸	2,5 5 10 ⁸	1,5 7. 10 ⁸	1,45 . 10 ⁸	10,2 10 ⁷	7,21 0 ⁷	3,4 10 7	1,6 10 7	1,6 10 ⁷	1,27 10 ⁷	5,6 10 ⁶
	2,69 10 ⁸		1,51 10 ⁸		8,7.10 ⁷		2,5.10 ⁷		1,44 10 ⁷		5,7 10 ⁶	
Streptocoques fécaux / 100 mL	1,60. 10 ⁷ 1,70. 10 ⁷		8,1. 10 ⁶ 7,5. 10 ⁶		6,1 10 ⁶ 6,0 10 ⁶		4,5. 10 ⁵ 5,6. 10 ⁵		1,6. 10 ⁵ 1. 10 ⁵		7,4. 10 ⁴ 8,3. 10 ⁴	
	165 10 ⁷		7,8 10 ⁶		6,15 10 ⁶		5,05. 10 ⁵		1,3. 10 ⁵		7,85. 10 ⁵	
Salmonelles / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	
Shigelles / 50 mL	Absence		Absence		Shigella flexneri		Shigella flexneri		Absence		Absence	
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence		Absence		Absence		Absence		Absence		Absence	

ANNEXE.3.4 : Résultats microbiologiques de la 4^{ème} campagne (27/05/ 06)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	1,16. 10 ⁸	6,5. 10 ⁷	5,2. 10 ⁷	2,2. 10 ⁷	4,1. 10 ⁶	1,5. 10 ³
	9,2. 10 ⁸	5,2. 10 ⁷	5,2. 10 ⁷	2,1. 10 ⁷	6,3. 10 ⁶	3. 10 ²
	1,040. 10 ⁸	5,85. 10 ⁷	5,20. 10 ⁷	2,15. 10 ⁷	5,2. 10 ⁶	9. 10 ²
Streptocoques fécaux / 100 mL	5,9. 10 ⁶	1,5. 10 ⁶	1,9. 10 ⁶	4,9. 10 ⁵	10 ⁵	1,24. 10 ⁴
	5,8. 10 ⁶	2. 10 ⁶	3. 10 ⁵⁶	3,3. 10 ⁵	1,2. 10 ⁵	1,58. 10 ⁴
	5,85. 10 ⁶	1,75. 10 ⁶	2,45. 10 ⁶	4,1. 10 ⁵	1,1. 10 ⁵	1,41. 10 ⁴
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Shigella. Flexneri	Shigella. Flexneri	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

ANNEXE.3.5: Résultats microbiologiques de la 5^{ème} campagne (30/05/ 06)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	1,32. 10 ⁸	6,9. 10 ⁷	3,4. 10 ⁷	2,9. 10 ⁷	1,49. 10 ⁷	4,4. 10 ⁵⁶
	1,40. 10 ⁸	7,3. 10 ⁷	4,8. 10 ⁷	2,5. 10 ⁷	1,27. 10 ⁷	4,6. 10 ⁶
	1,36. 10 ⁸	7,1. 10 ⁷	4,1. 10 ⁷	2,7. 10 ⁷	1,38. 10 ⁷	4,5. 10 ⁶
Streptocoques fécaux / 100 mL	1,09. 10 ⁷	4,2. 10 ⁶	2,8. 10 ⁶	8. 10 ⁵	1,9. 10 ⁵	1,2. 10 ⁵
	1,13. 10 ⁷	4,4. 10 ⁶	3,2. 10 ⁶	10. 10 ⁵	1,9. 10 ⁵	1,2. 10 ⁵
	1,11. 10 ⁷	4,3. 10 ⁶	3. 10 ⁶	9. 10 ⁵	1,9. 10 ⁵	1,2. 10 ⁵
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

ANNEXE.3.6 : Résultats microbiologiques de la 6^{ème} campagne (03/06/ 06)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	2,22. 10 ⁸	7,6. 10 ⁷	4,3. 10 ⁷	4,2. 10 ⁷	9,4. 10 ⁶	2,2. 10 ⁶
	2,12. 10 ⁸	9,0. 10 ⁷	5,1. 10 ⁷	3,4. 10 ⁷	9,0. 10 ⁶	1,6. 10 ⁶
	2,17. 10 ⁸	8,3. 10 ⁷	4,7. 10 ⁷	3,8. 10 ⁷	9,2. 10 ⁶	1,9. 10 ⁶
Streptocoques fécaux / 100 mL	1,40. 10 ⁷	2,5. 10 ⁶	1,7. 10 ⁶	8. 10 ⁵	2,2. 10 ⁵	2,4. 10 ⁴
	1,90. 10 ⁷	3,2. 10 ⁶	2,3. 10 ⁶	10. 10 ⁵	2,5. 10 ⁵	3,4. 10 ⁴
	1,65. 10 ⁷	2,85. 10 ⁶	2. 10 ⁶	9. 10 ⁵	2,35. 10 ⁵	2,9. 10 ⁴
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

ANNEXE.3.7 : Résultats microbiologiques de la 7^{ème} campagne (20/10/ 06)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	1,74. 10 ⁸	9,2. 10 ⁷	4,4. 10 ⁷	5,6. 10 ⁶	5. 10 ³	9,6. 10 ⁴
	1,78. 10 ⁸	8. 10 ⁷	4,8. 10 ⁷	3,2. 10 ⁶	7. 10 ³	1,06. 10 ⁵
	1,76. 10 ⁸	8,6. 10 ⁷	4,6. 10 ⁷	4,4. 10 ⁶	6. 10 ³	1,01. 10 ⁵
Streptocoques fécaux / 100 mL	4,2. 10 ⁶	3,1. 10 ⁶	3. 10 ⁶	1,6. 10 ⁵	1. 10 ²	3. 10 ²
	6,2. 10 ⁶	2,7. 10 ⁶	2,8. 10 ⁶	2,6. 10 ⁵	1. 10 ²	3. 10 ²
	5,2. 10 ⁶	2,9. 10 ⁶	2,9. 10 ⁶	2,1. 10 ⁵	1. 10 ²	3. 10 ²
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

ANNEXE.3.8 : Résultats microbiologiques de la 8^{ème} campagne (13/03/ 07)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	1,02. 10 ⁸	4,4. 10 ⁷	2,3. 10 ⁷	3,2. 10 ⁴	8,7. 10 ³	1,76. 10 ⁵
	1,14. 10 ⁸	5,4. 10 ⁷	2,1. 10 ⁷	4,0. 10 ⁴	9,7. 10 ³	1,84. 10 ⁵
	1,08. 10 ⁸	4,9. 10 ⁷	2,2. 10 ⁷	3,6. 10 ⁴	9,2. 10 ³	1,80. 10 ⁵
Streptocoques fécaux / 100 mL	5. 10 ⁶	3. 10 ⁶	1. 10 ⁶	1,4. 10 ⁴	4. 10 ²	1,2. 10 ⁴
	3. 10 ⁶	3. 10 ⁶	1. 10 ⁶	1,8. 10 ⁴	8. 10 ²	1. 10 ⁴
	4. 10 ⁶	3. 10 ⁶	1. 10 ⁶	1,6. 10 ³⁴	6. 10 ²	1,1. 10 ⁴
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

ANNEXE.3.9 : Résultats microbiologiques de la 9^{ème} campagne (14/03/ 07)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	7,9. 10 ⁷	5,2. 10 ⁷	1,7. 10 ⁷	3,9. 10 ⁴	9,0. 10 ⁵	1,40.10 ⁵
	8,9. 10 ⁷	6,2. 10 ⁷	2,1. 10 ⁷	4,5. 10 ⁴	1,50.10 ⁵	1,60.10 ⁵
	8,4. 10 ⁷	5,7. 10 ⁷	1,9. 10 ⁷	4,2. 10 ⁴	1,20.10 ⁵	1,50.10 ⁵
Streptocoques fécaux / 100 mL	6. 10 ⁶	4. 10 ⁶	3. 10 ⁶	1. 10 ⁴	1. 10 ⁴	1,4. 10 ⁴
	4. 10 ⁶	2. 10 ⁶	3. 10 ⁶	3. 10 ⁴	1,6. 10 ⁴	1,2. 10 ⁴
	5. 10 ⁶	3. 10 ⁶	3. 10 ⁶	2. 10 ⁴	1,3. 10 ⁴	1,3. 10 ⁴
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence

ANNEXE.3.10 : Résultats microbiologiques de la 10^e campagne (20/03/ 07)

	Eau dessablée 1	ancien décanteur 2	nouveau décanteur 3	Eau clarifiée 4	Eau filtrée 5	Eau chlorée 6
Coliformes fécaux / 100 mL	2,1. 10 ⁷	1,7. 10 ⁷	6. 10 ⁶	5,1. 10 ⁵	1,2. 10 ⁴	00
	1,9. 10 ⁷	1,9. 10 ⁷	10. 10 ⁶	5,5. 10 ⁵	1,4.10 ⁴	00
	2. 10 ⁷	1,8. 10 ⁷	8. 10 ⁶	5,3. 10 ⁵	1,3. 10 ⁴	00
Streptocoques fécaux / 100 mL	1,2. 10 ⁷	3. 10 ⁶	3. 10 ⁶	4. 10 ⁴	1. 10 ³	00
	8. 10 ⁶	5. 10 ⁶	3. 10 ⁶	4,6. 10 ⁴	1. 10 ³	00
	1. 10 ⁷	4. 10 ⁶	3. 10 ⁶	4,3. 10 ⁴	1. 10 ³	00
Salmonelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Shigelles / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Vibrio Cholérique / 50 mL	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence



FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES
INSTITUT DES SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT
(ISE)

Sujet : «Etude de la qualité microbiologique et impact environnemental des effluents traités à la Station d'épuration de cambéréne ».

Prénom et Nom du Candidat: Modou DIENG

Nature du Mémoire soutenu : Diplôme d'Etudes Approfondies (DEA) en Sciences de l'environnement

JURY

Président : Pr. Bienvenu SAMBOU
Directeur de Mémoire : Dr. Cheikh DIOP
Membre : Pr. Ndèye Coumba TOURE KANE
Membre : Dr. Mbaye MBEGUERE

Date de Soutenance : Juin 2008

RESUME

La réutilisation des eaux usées épurées contribue considérablement à l'économie d'eau, de fertilisants, et à l'augmentation des rendements. A Dakar, les eaux épurées à la station de Cambéréne sont déversées en mer ou réutilisées pour les travaux d'irrigation et pour le micro jardinage.

Des quantités trop élevées de rejets peuvent poser des risques pour les écosystèmes et les espèces aquatiques. De plus, les polluants qui persistent dans l'environnement, même après un traitement d'épuration conventionnel des eaux usées, peuvent entraîner des dommages. Les eaux usées des municipalités, y comprises celles des secteurs résidentiel, commercial et industriel, sont la principale source de contaminants dans l'environnement marin. A Dakar, au Sénégal, où vit la majorité des Sénégalais, une bonne partie des eaux usées est traitée à la station d'épuration de Cambéréne de manière à réduire les matières solides en suspension, la charge organique afin de limiter les impacts environnementaux sur les écosystèmes aquatiques récepteurs.

Cette étude s'intéresse à l'évolution de la charge microbienne dès l'entrée en station jusqu'au poste de chloration en passant par les différentes étapes de traitement. Elle tente de comparer d'abord les indicateurs de pollution entre eux sur les mêmes étapes mais aussi leur évolution suivant les différents niveaux de traitement et s'intéresse ensuite à l'existence éventuelle d'une corrélation entre germes indicateurs de pollution fécale et germes pathogènes tels que Salmonelle, Shigelle, Vibriion cholerae.

En définitive, nous avons remarqué une faible présence de germes pathogènes malgré une forte présence de germes indicateurs. La flore microbienne diminue au fur et à mesure que l'on s'approche du dernier point de traitement avec une baisse remarquable, malgré une présence anormale de germes au poste de chloration. Cela nous a conduits à mener au laboratoire des essais de vérification de la dose de chlore appliquée lors du traitement.

Mots-clés : eaux de rejets, germes pathogènes, Salmonelle, Shigelle, Vibriion cholerae, indicateurs de pollution fécale.

DEDICACES

Au nom de Dieu, le très clément, le tout miséricordieux.

Nous dédions ce travail à :

- Mon Père Feu EL Hadji Mama DIENG
- Mon frère Feu Amadou Lamine DIENG

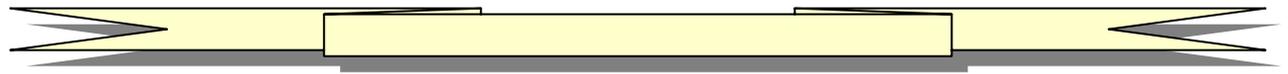
Que la grâce de DIEU soit sur vous.

- Ma Mère
- Mon épouse
- Tous mes camarades de la 27^{ème} promotion à l'ISE.

REMERCIEMENTS

Nous remercions :

- ☛ Le Professeur Bienvenu SAMBOU, Directeur de l'Institut des Sciences de l'Environnement de me faire l'honneur de bien vouloir présider ce jury.
- ☛ Le Docteur Cheikh DIOP, Directeur des Etudes de l'ISE et Directeur de mémoire pour la rigueur apportée à notre formation et à la réalisation de ce mémoire, malgré ses nombreuses charges. Tous ces travaux n'auraient pu s'effectuer sans ses conseils avisés.
- ☛ Le Professeur agrégé Ndèye Coumba KANE TOURE d'avoir accepté de participer à ce jury et de sa disponibilité sans faille. J'aurais beaucoup de mal à résumer en quelques lignes tout ce qu'elle m'a appris scientifiquement et humainement.
- ☛ Monsieur Mbaye MBEGUERE, Docteurs en Sciences de l'environnement, consultant au bureau d'étude H₂O engineering pour l'honneur qu'il me fait en acceptant de juger ce travail.
- ☛ L'ensemble du corps professoral de l'ISE d'avoir participé à notre formation.
- ☛ Monsieur El Hadji Abib NGOM, Directeur de l'Ecole Supérieure Polytechnique (ESP), pour avoir financé intégralement ce travail.
- ☛ Le Directeur général et le personnel de l'ONAS sans oublier M. Ibrahima DIONE, Responsable du laboratoire.
- ☛ L'ensemble du personnel de l'ISE pour son assistance et sa disponibilité durant notre formation.
- ☛ Mon épouse Madame Seynabou MBENGUE DIENG, pour m'avoir supporté et encouragé pendant toutes ces années dans cette voie malgré tous les efforts que cela demande.
- ☛ A tous mes amis et camarades de la 27^{ème} promotion à l'ISE, à l'ESP et du Prytanée militaire de Saint-Louis.



«Par délibération, la faculté et l'Institut ont décidé que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'ils n'entendent leur donner aucune approbation ni improbation.»

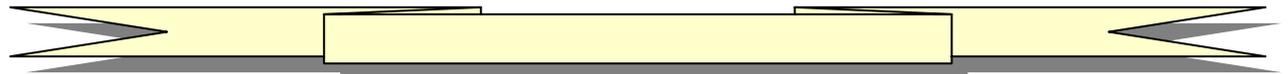


TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : REVUE DE LA LITTERATURE	5
1. Généralités	5
2. L'organisation du secteur de l'Eau au Sénégal	14
2.1. Les aspects institutionnels	14
2.2. Les aspects législatifs et réglementaires	15
3. Association Indicateurs de pollution et germes pathogènes	19
3.1. Habitat et Epidémiologie des Salmonelles	20
3.2. Habitat et Epidémiologie des Shigelles	23
3.3. Habitat et Epidémiologie des Vibrions cholériques	24
3.4. Les Coliformes fécaux	25
3.5. Les Streptocoques fécaux	26
4. TYPOLOGIE ET SYSTEME DE COLLECTE DES EAUX USEES	28
4.1. Le système de collecte des eaux usées	28
4.2. Les eaux usées domestiques.	28
DEUXIEME PARTIE : CADRE DE L'ETUDE, MATERIELS ET METHODES	30
1. CADRE DE L'ETUDE : STATION D'EPURATION DE CAMBERENE	30
1.1. Description de la station	30
1.2. Rôle de la Station	32
1.3. Organisation de la filière de traitement	32
1.3.1. Le Prétraitement	32
1.3.1.1. Le dégrillage	32
1.3.1.2. Le dessablage	32
1.3.1.3. Le dégraissage-déshuilage	33
1.3.2. Le Traitement primaire	33
1.3.3. Les traitements secondaires	33
1.3.4.. Filtration de l'effluent	34
1.3.5. Chloration	34

2. METHODOLOGIE:	37
2.1. Durée de l'étude	37
2.2. Matériels de prélèvements	37
2.3. Plan de Prélèvement	37
2.4. Travail de laboratoire	39
2.4.1.. Dénombrement des indicateurs de pollution fécale	39
2.4.2. Identification des Salmonelles.	39
2.4.2.1. Préenrichissement	39
2.4.2.2. Enrichissement	40
2.4.2.3. Isolement	40
2.4.2.4. L'identification biochimique et sérologique	40
2.5. Vérification de la méthode de chloration	42
TROISIEME PARTIE : RESULTAS ET DISCUSSIONS	43
IV. CONCLUSION	54
V. BIBLIOGRAPHIE	56
VI. ANNEXES	60

RESUME

La réutilisation des eaux usées épurées contribue considérablement à l'économie d'eau, de fertilisants, et à l'augmentation des rendements. A Dakar, les eaux épurées à la station de Cambérène sont déversées en mer ou réutilisées pour les travaux d'irrigation et pour le micro jardinage.

Des quantités trop élevées de rejets peuvent poser des risques pour les écosystèmes et les espèces aquatiques. De plus, les polluants qui persistent dans l'environnement, même après un traitement d'épuration conventionnel des eaux usées, peuvent entraîner des dommages. Les eaux usées des municipalités, y comprises celles des secteurs résidentiel, commercial et industriel, sont la principale source de contaminants dans l'environnement marin. A Dakar, au Sénégal, où vit la majorité des Sénégalais, une bonne partie des eaux usées est traitée à la station d'épuration de Cambérène de manière à réduire les matières solides en suspension, la charge organique afin de limiter les impacts environnementaux sur les écosystèmes aquatiques récepteurs.

Cette étude s'intéresse à l'évolution de la charge microbienne dès l'entrée en station jusqu'au poste de chloration en passant par les différentes étapes de traitement. Elle tente de comparer d'abord les indicateurs de pollution entre eux sur les mêmes étapes mais aussi leur évolution suivant les différents niveaux de traitement et s'intéresse ensuite à l'existence éventuelle d'une corrélation entre germes indicateurs de pollution fécale et germes pathogènes tels que Salmonelle, Shigelle, Vibriion cholerae.

En définitive, nous avons remarqué une faible présence de germes pathogènes malgré une forte présence de germes indicateurs. La flore microbienne diminue au fur et à mesure que l'on s'approche du dernier point de traitement avec une baisse remarquable, malgré une présence anormale de germes au poste de chloration. Cela nous a conduits à mener au laboratoire des essais de vérification de la dose de chlore appliquée lors du traitement.

Mots-clés : eaux de rejets, germes pathogènes, Salmonelle, Shigelle, Vibriion cholerae, indicateurs de pollution fécale.

ABREVIATIONS

ASN :	Association sénégalaise de normalisation
BU :	Bibliothèque Universitaire,
CSHPF :	Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France Section des eaux
CTT :	Coliformes thermotolérants
ESP :	Ecole Supérieure Polytechnique
IFAN :	Institut Fondamental d'Afrique Noire,
ISE :	Institut des Sciences de l'Environnement,
JICA :	Agence japonaise de la coopération internationale
MES :	Matière en Suspension
MH :	Ministère de l'Hydraulique
ONAS :	Office National d'Assainissement
S :	Salmonelles
SDE :	Sénégalaise des Eaux
SF :	Streptocoques fécaux
SNH :	Service national de l'Hygiène
SONEES :	Société Nationale d'exploitation des eaux du Sénégal
SONES :	Société nationale des eaux du Sénégal
TIAC :	Toxi-infection alimentaire collective