



Impacts des effluents liquides industriels sur l'environnement urbain d'Abidjan - Côte D'Ivoire

Koffi René DONGO ^{1,2*}, Bobelé Florence NIAMKE ², Anoh Félix ADJE ²,
Bi Gouesse Henri BRITTON ², Laurent Anzan NAMA ¹, Kouassi Paul ANOH ¹,
Amissa Augustin ADIMA ² et Koffi ATTA ¹

¹Laboratoire de Gestion de l'Environnement et des Risques (LAGERIS), Institut de Géographie Tropicale, Université de Cocody-Abidjan, 22 BP 744 Abidjan 22, Côte d'Ivoire.

²Laboratoire des Procédés Industriels de Synthèses, de l'Environnement et des Energies Nouvelles (LAPISEN), Groupe de Recherches Chimie de l'Eau et des Substances Naturelles (GCESNA), Institut National Polytechnique Houphouët Boigny de Yamoussoukro, BP 1221 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire.

*Auteur correspondant, E-mail : dongother@yahoo.fr; Tel. (225) 05898495

RESUME

Au cours de ces dernières années, les pouvoirs publics ivoiriens ont fait de l'industrialisation l'un des maillons essentiels du développement, après le succès de l'agriculture. Mais la mise en œuvre de cette politique pose parfois des problèmes d'environnement à Abidjan. La présente étude a pour objectif principal d'évaluer à travers six paramètres (T °C, pH, DCO, DBO₅, MES et MGT), les impacts environnementaux négatifs des effluents industriels dans le milieu urbain d'Abidjan. Pour ce faire, des analyses physico-chimiques de 36 échantillons de rejets industriels, ont été réalisées. A l'exception du pH et de la température, les valeurs extrêmes des paramètres de pollution (DCO, DBO₅, MES et MGT respectivement de 1392,83 mg O₂/l, 910,03 mg O₂/l, 231,53 mg/l et 332,67 mg/l) sont largement supérieures à la norme ivoirienne. Ce qui indique que la zone urbaine d'Abidjan est polluée. Par ailleurs, l'activité industrielle a favorisé aux alentours des zones industrielles d'Abidjan (Yopougon et Port-Bouët), des habitats précaires avec leurs corollaires de maladies (paludisme (68,4%), fièvre typhoïde (12,2%), etc.) et les mauvaises conditions de vie (53,4%). Au regard de ce qui précède, il serait recommandable aux industriels de mettre l'accent sur l'abattement des paramètres en deçà des normes. Les structures de contrôle étatique devraient assurer leur rôle régalien au sein des zones industrielles.

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Entreprises industrielles, Abidjan, paramètres physico-chimiques, Environnement, Impacts, pollution.

INTRODUCTION

La lutte anti-pollution et l'amélioration de l'environnement urbain sont devenues au cours de ces dernières années, les priorités absolues des gouvernants, des urbanistes et

des organisations non gouvernementales. Les liens étroits existants entre la santé publique, la pollution et la qualité de l'environnement, ont favorisé la prise de conscience aigüe et généralisée des risques environnementaux et

© 2013 International Formulae Group. All rights reserved.

DOI : <http://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v7i1i.36>

sanitaires causés par les entreprises industrielles, surtout dans les pays en développement.

La Côte d'Ivoire après le succès de son agriculture, pilier de son économie au lendemain de l'indépendance, a motivé et a fondé sa politique industrielle, sur la valorisation des matières premières qui constituent la clé d'accès au stade de pays développé et le fer de lance de sa croissance. Le secteur industriel regorge d'une panoplie d'entreprises regroupées dans divers secteurs d'activités qui sont : l'agro-industrie, le textile, le secteur chimique et dérivé, le secteur mécanique, électrique et électronique, l'emballage, la transformation du bois, le secteur minier et énergétique (Anonyme 1, 2000). L'industrie ivoirienne, partie d'une quarantaine d'unités dans les années 50, comptait en 1994, près de 8 000 entreprises et contribuait à 30% du PIB avec 10% des exportations (Banque-Mondiale, 1994). Les industries sont concentrées à plus de 73% dans le Sud du pays, notamment à Abidjan (Atta, 1994). A Abidjan, les industries sont concentrées à 45% à Yopougon, 20% à Koumassi et 20% à Port-Bouët. L'urbanisation rapide non maîtrisée de la ville d'Abidjan ainsi que son industrialisation accélérée sans politique rigoureuse de gestion des déchets, sont devenues une préoccupation majeure des pouvoirs publics. La question de l'assainissement vient se hisser au centre des réflexions. Les enjeux essentiels sont d'ordres environnementaux et sanitaires.

Les unités industrielles dans leurs fonctionnements utilisent beaucoup d'eau, non seulement dans le processus de transformation mais aussi pour le nettoyage des installations et des outils après la production. Ces eaux industrielles résiduaires ou usées sont rejetées parfois dans le réceptacle naturel qui est la lagune Ebrié ou en haute mer à 1200 m des rives, dans l'océan atlantique sans traitement

préalable. Les eaux résiduaires sont très souvent fortement chargées en matières organiques et chimiques. Elles présentent souvent un large spectre de polluants chimiques: à l'état solide ou dissous, minéraux, métaux, hydrocarbures, solvants et matières organiques (polymères, huiles, graisses, sels, etc.), à divers niveaux de toxicité (Cantet, 2007). Les eaux usées modifient particulièrement la qualité des milieux récepteurs (Cabrit-Leclerc, 2008).

Pour faire face aux problèmes environnementaux, la Côte d'Ivoire a ratifié plusieurs traités et conventions. Elle a de même adopté des lois relatives à la protection de l'environnement (eau, air, sols, etc.), auxquelles les activités industrielles sont soumises.

Mais, depuis l'existence de l'Arrêté n° 2008-1164 du 04 novembre 2008, portant réglementation des rejets et émissions atmosphériques pour la protection de l'environnement en Côte d'Ivoire (Anonyme, 2008), la politique environnementale est-elle efficace et appliquée de façon rigoureuse ? Pour vérifier si les normes des rejets sont suivies, cette étude a été commanditée et réalisée par une équipe de recherche. Il importe d'évaluer : « les impacts des effluents liquides industriels sur l'environnement urbain d'Abidjan en Côte d'Ivoire ». L'environnement urbain d'Abidjan composé de l'agglomération, de la lagune Ebrié et de l'océan atlantique, a contribué à son développement spectaculaire et son rayonnement d'antan. Le cadre physique d'Abidjan joue par conséquent un rôle important dans le développement de l'activité industrielle. Par contre, les industries participent d'une certaine manière à accroître les charges en polluants de ce cadre physique. La plupart de ces industries produisent des déchets de composition semblable aux effluents domestiques qui sont pour le moins,

passibles d'un traitement biologique (Colcanap et Dufour, 1982).

Ainsi, la lagune Ebrié, considérée, comme le réceptacle des rejets industriels, serait à moyen et long terme un danger pour les populations d'Abidjan si aucune action n'est entreprise.

L'objectif principal de l'étude est d'évaluer les impacts de la pollution industrielle sur l'environnement urbain d'Abidjan. Il s'agit spécifiquement de caractériser au plan physico-chimique les effluents industriels, d'étudier les conditions de vie des populations riveraines, et de proposer des stratégies pour minimiser les risques de maladies et améliorer les conditions de vie des populations.

MATERIEL ET METHODES

Zone d'étude

Abidjan est situé entre la latitude 5°19' Nord et la longitude 4°01' Ouest, au Sud-Est de la Côte d'Ivoire. A l'instar des grandes métropoles, Abidjan connaît une intense prolifération d'unités industrielles et une urbanisation spectaculaire enregistrant pour ce faire, une intense migration et un exode rural massif. De 1955 à 1988, la population d'Abidjan a doublé tous les dix ans. Cette population représente 44% à 46% de la population urbaine de la Côte d'Ivoire (Aka et Zanou, 1994).

Le choix d'Abidjan est justifié par le fait qu'il est la capitale économique du pays, le centre de décision administrative. A ce titre, il concentre la quasi-totalité des activités secondaires et tertiaires du pays. Abidjan regroupe plus de 65% des industries de la Côte d'Ivoire (Metongo et al., 1993). Il joue un rôle de choix dans la dynamique industrielle du territoire national. Abidjan couvrait une superficie estimée à 54.000 ha dont 8.700 ha de lagune (Antoine et al., 1987). L'espace industriel de la ville d'Abidjan se

concentre sur trois grandes zones essentielles. Ce sont : la zone industrielle de Yopougon (45%), la zone industrielle de Port-Bouët (20%) et la zone industrielle de Koumassi (20%).

Echantillonnage de l'étude et Choix des industries

Des enquêtes et des entretiens ont été réalisés auprès des unités industrielles et des personnes ressources des ministères techniques.

Les critères de choix des usines sont fonction du secteur d'activité, de la situation géographique (type de zone industrielle), de la date de création (année) pour s'assurer de l'expérience acquise, du nombre d'employés pour connaître la taille de l'entreprise, la nature des produits commercialisés pour s'assurer du recyclage des déchets, et de la nature des déchets produits pour connaître la quantité de rejets.

Douze unités industrielles composées de six agro-alimentaires (deux chaque type : huilerie, brasserie et laitière) et six chimiques (deux chaque type : phytosanitaire, savonnerie et recyclage d'huile usagée) ont été choisies.

Choix des personnes ressources

Les personnes ressources interviewées sont : les Directeurs de production des usines, les personnes ressources des Ministères techniques, les résidents des zones industrielles et les populations riveraines.

Au sein des unités industrielles retenues pour l'enquête, le Directeur de production en tant que le premier responsable technique, est interviewé afin d'avoir les informations concernant les différents rejets de son unité industrielle, le mode de gestion des rejets, les lieux de déversement des déchets, et les impacts des rejets sur les riverains et l'environnement.

Au total, douze Directeurs de production industrielle ont été interrogés pour comparer les informations à celles recueillies auprès des populations riveraines enquêtées. L'enquête s'est déroulée au sein des zones industrielles de Koumassi, de Port-Bouët et de Yopougon, aux alentours des unités industrielles retenues, auprès des chefs de ménage, à environ 1,5 km. Le choix des personnes consiste à prendre les individus à partir des critères jugés assez pertinents qui décrivent de façon objective les populations résidentes et riveraines. Ces critères sont : noms et prénoms, âge, sexe, nationalité, niveau d'instruction, types d'habitats, situation géographique par rapport à l'usine (proche ou éloigné) et durée d'installation du résident dans la zone industrielle (ancien ou nouveau).

Dans le domaine des sciences sociales, on considère en général qu'une enquête quantitative doit avoir un échantillonnage minimal de quatre-vingt (80) individus. Ainsi, la taille de l'échantillon dans ce domaine varie de façon habituelle entre 100 et 1000 enquêtés (Berthier, 1998). Ce qui justifie le nombre total de ménages choisis (110) dont trente cinq à Koumassi, trente six à Port-Bouët et trente neuf à Yopougon en fonction de la densité des

installations classées et de la population, ainsi que l'étendue des zones industrielles.

Au total, dix personnes ressources, occupant le rang de Directeur ou Sous-Directeur dans l'administration centrale, ont été interviewées dans plusieurs ministères techniques.

Ce sont en l'occurrence ; trois au Ministère du logement et du cadre de vie, trois au Ministère de l'industrie et des investissements privés et quatre au Ministère de l'environnement, des eaux et forêts. Les informations collectées ont permis de confronter celles recueillies à celles de la documentation et des observations de terrain.

Méthodes d'analyses de rejets liquides

Au cours de l'enquête, trente six échantillons de rejets liquides industriels ont été prélevés dans douze usines et ont été analysés par le biais du Laboratoire National d'Essais de Qualité, de Métrologie et d'Analyses (LANEMA).

Les méthodes d'analyses sont pour la plupart les méthodes analytiques normalisées de l'Association Française de Normalisation (Afnor, 1986). Les références et les méthodes utilisées sont consignées dans le Tableau 1.

Tableau 1: Matériel et Méthodes analytiques utilisés (AFNOR 1986).

Paramètres	Unités	Références AFNOR	Matériel et méthodes
PH	-	NFT 90 008	PHmètre Beckman Century ss-1
T	°C	-	(Washington, Etats-Unis)
DCO	mg O ₂ /l	NFT 90 101	Thermomètre bimetallique type 4101 (Paris, France)
DBO ₅	mg O ₂ /l	NF EN 1899-1	
MES	mg/l	NFT 90 105	Milieu acide, K ₂ Cr ₂ O ₇
MGT	mg/l	Bipea, 1976	Dilution et apport d'Allyl Thio-Urée (ATU) Filtration et séchage Méthode de SOXHLET

Les paramètres mesurés au sein des zones industrielles (Koumassi, Port-Bouët et Yopougon) évaluées sont : le potentiel d'Hydrogène (pH), la Température (T), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), la Matière en Suspension (MES) et la Matière Grasse Totale (MGT). Les analyses ont été faites en trois répétitions.

Ces indicateurs de pollution sont importants pour plusieurs raisons :

- Le potentiel d'hydrogène (pH) mesure l'acidité de l'eau et joue un rôle important dans la définition du caractère agressif ou incrustant de l'eau (Rodier, 1996).

- La température est de même importante, car elle joue un grand rôle dans le métabolisme général et la solubilité des gaz (par exemple l'oxygène). Une élévation de la température peut perturber fortement le milieu récepteur (pollution thermique).

- La demande chimique en oxygène (DCO) indique l'oxydation aussi bien de la majeure partie des composés organiques que des composés minéraux oxydables. Elle est exprimée en milligramme d'oxygène par litre d'eau (mg O₂/l) (Benoit, 2002).

- La demande biochimique en oxygène (DBO₅) est un indicateur de pollution organique des eaux. La DBO₅ exprime le niveau de biodégradabilité de l'effluent. Elle s'exprime en milligramme d'oxygène par litre (mg O₂/l) (Benoit, 2002).

- Les matières en suspension (MES) sont responsables de la turbidité et de la couleur de l'eau (Degremont, 1989). La MES s'avère comme un facteur de pollution en ce sens que les travaux de Marchand et Martin (1985), ont montré que la plupart des polluants chimiques sont adsorbés sur elle.

- Les Matières grasses totales (MGT) permettent de déterminer la quantité de matières grasses contenues dans les effluents (Coulibaly, 2001). Elles s'expriment en mg/l.

Traitement des données

L'ensemble des données recueillies pendant l'enquête de terrain a fait l'objet d'un traitement manuel et informatique. Les informations réunies ont été dépouillées manuellement et saisies à l'ordinateur. Elles ont fait l'objet d'un recoupement avec celles contenues dans la littérature.

Les résultats sont illustrés sous forme d'analyses cartographique, graphique, statistique et réalisés à partir des logiciels spécifiques : arc view 3.2 (cartographie), Access 2003 et Excel 2003 (traitement graphique), et Statistica 7.1 (traitement statistique, seuil d'erreur de 5%).

La combinaison de l'arithmétique et de la logique fait intervenir des données quantitatives et qualitatives. Elle a pour but de confronter notre étude aux résultats d'études antérieures.

RESULTATS

Paramètres physico-chimiques

Le suivi de la qualité des eaux usées industrielles est réalisé à travers les paramètres physico-chimiques des effluents dont les plus importants selon les normes ivoiriennes, sont : le potentiel d'Hydrogène (pH), la température (T), la Demande Chimique en Oxygène (DCO), la Demande Biochimique en Oxygène (DBO₅), les Matières En Suspension (MES) et les Matières Grasses Totales (MGT). En raison de la non-maîtrise des débits journaliers par les industriels, la détermination de la DCO, la DBO₅ et les MES, a été faite sur la base des concentrations dans ces travaux.

Potentiel d'hydrogène (pH)

Lorsqu'on effectue une étude par rapport aux zones industrielles, les valeurs du potentiel d'Hydrogène de Yopougon (pH YOP) sont plus faibles (7,5), par rapport à celles de Port-Bouët (8,02) et de Koumassi

(9,05). Ils respectent tous la norme ivoirienne ($6,5 < \text{pHi} < 9,50$) (Tableau 2).

Ces résultats montrent que le pH des effluents industriels d'Abidjan est relativement basique.

Température (T)

La température moyenne des eaux de rejets industriels d'Abidjan ($34,78\text{ }^{\circ}\text{C}$), est inférieure à celle préconisée par la norme ivoirienne ($T_i = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$) (Tableau 3). En comparant par zone industrielle, la zone industrielle de Port-Bouët possède la plus basse ($30,57\text{ }^{\circ}\text{C}$) tandis que celle de Koumassi est la plus élevée ($40,65\text{ }^{\circ}\text{C}$). Les valeurs de température sont conformes aux normes en vigueur.

Demande chimique en oxygène (DCO)

La moyenne de la Demande Chimique en Oxygène (DCO) observée à Abidjan ($1180,64\text{ mg O}_2/\text{l}$), est plus de 2 fois supérieure à la norme ivoirienne ($\text{DCO}_i = 500\text{ mg O}_2/\text{l}$) (Figure 1). Lorsqu'on compare les DCO dans les différentes zones industrielles, on constate qu'elles sont toutes, au moins 2 fois supérieures à la DCO_i . Cependant, Yopougon a la plus faible valeur des trois zones industrielles ($1000\text{ mg O}_2/\text{l}$). Alors que Port-Bouët a la plus forte valeur ($1392,83\text{ mg O}_2/\text{l}$). Les valeurs obtenues à Yopougon et Port-Bouët sont respectivement 2 et 3 fois la norme nationale. En tenant compte de ce paramètre, le quartier le plus pollué en DCO serait Port-Bouët et le moins pollué Yopougon.

Demande biochimique en oxygène (DBO₅)

La moyenne de la demande biochimique en oxygène (DBO_5) est de $728,17\text{ mg O}_2/\text{l}$ (Figure 2). Cette valeur est plus de 4 fois supérieure à la norme ivoirienne ($150\text{ mg O}_2/\text{l}$). Les DBO_5 des effluents liquides des zones industrielles sont par ordre croissant de $509\text{ mg O}_2/\text{l}$ à Koumassi, $765\text{ mg O}_2/\text{l}$ à Port-Bouët et enfin $910,3\text{ mg O}_2/\text{l}$ à Yopougon. Ces valeurs moyennes de DBO_5

des différentes zones industrielles sont 3 à 7 fois supérieures à la norme ivoirienne ($150\text{ mg O}_2/\text{l}$).

Sur l'ensemble des échantillons d'Abidjan, les rapports DCO/DBO_5 sont en dessous de 2,5 ; valeur en dessous de laquelle la biodégradabilité des eaux usées industrielles est effective. Ces rapports indiquent la biodégradabilité en matière organique d'une eau usée. Dans la présente étude, les DCO/DBO_5 ont des valeurs respectives à Yopougon, Port-Bouët et Koumassi de 1,09; 1,82 et 2,25 (Tableau 4). A Koumassi, ces eaux usées sont plus ou moins biodégradables.

Matières en suspension (MES)

La valeur moyenne des matières en suspension (MES) est de $166,4\text{ mg/l}$ et est supérieure à la limite fixée (150 mg/l). (Figure 3). Cependant, ces résultats sont statistiquement identiques. Elle varie selon les zones industrielles : $159,1\text{ mg/l}$ (Yopougon) et $231,5\text{ mg/l}$ (Port-Bouët). Les échantillons de Port-Bouët et Yopougon ont montré une différence significative de la norme ivoirienne. Par contre, la zone industrielle de Koumassi présente, une MES statistiquement identique à la norme ivoirienne.

Matières grasses totales (MGT)

La teneur moyenne en MGT des effluents d'Abidjan ($166,28\text{ mg/l}$) est 5 fois supérieure à la norme ivoirienne (30 mg/l). La concentration de matière grasse totale de Koumassi ($13,4\text{ mg/l}$) est au moins 2 fois inférieure à la limite fixée (30 mg/l), alors que celles de Yopougon ($152,77\text{ mg/l}$) et de Port-Bouët ($332,67\text{ mg/l}$) sont au moins 5 fois supérieures à la norme ivoirienne (Figure 4). Ces moyennes sont statistiquement différentes de la norme ivoirienne. Port-Bouët est le plus affecté en termes de pollution en matière grasse totale.

Niveaux de pollution des types d'industries en fonction des paramètres mesurés

En ce qui concerne les paramètres tels que le pH et la température, les industries d'Abidjan sont en conformité avec la législation ivoirienne (Tableau 5).

Les industries chimiques et agro-alimentaires produisent les DBO₅, DCO, MES et MGT au-delà de la norme ivoirienne. En fonction du secteur d'activité, les industries chimiques produisent beaucoup plus de DCO que les industries agro-alimentaires. De même, l'analyse statistique révèle que les industries chimiques et agro-alimentaires produisent les mêmes effets du point de vue impacts environnementaux des MGT, MES et DBO₅, par rapport aux normes ivoiriennes (Tableau 5).

Les paramètres physico-chimiques des effluents industriels engendrent des impacts qui peuvent être d'ordre physique.

Impacts physiques

Les impacts physiques engendrés par les compositions chimiques des effluents industriels sur le milieu récepteur sont différents, en termes de coloration et d'eutrophisation du plan d'eau lagunaire.

Natures de pollutions environnementales

Les pollutions engendrées par les industries à Abidjan sont de natures diverses. Elles peuvent être soit atmosphériques (68%) par dégagement d'odeur après dégradation des matières organiques des effluents, soit tellurique (2%) par infiltration dans le sol, soit hydrique (30%) par contamination du réceptacle. Les pollutions hydriques ont pour conséquences des manifestations atmosphériques. Les eaux usées dégagent des odeurs nauséabondes. Les dégagements gazeux confèrent aux zones industrielles, des odeurs piquantes à 48%, asphyxiantes à 28%, nauséabondes à 24% et agréables à 7% (Figure 5).

Coloration des eaux usées

Depuis la crise du 19 Septembre 2002, Abidjan abrite plus de 85% des entreprises installées en Côte d'Ivoire, seul 1% des industries d'Abidjan, dispose des stations de traitement des eaux usées. Lorsque le réseau de drainage est accidentellement bouché, l'eau usée coule dans la nature à l'air libre, constituant ainsi un danger pour les travailleurs et les populations riveraines des zones industrielles. Les couleurs de l'eau usée sont fonction des matières rejetées au cours du procédé de transformation (Figure 6).

Eutrophisation lagunaire

La lagune Ebrié est constituée d'un bassin central de 125 km sur 0,4 à 7 km de large et séparée de l'océan atlantique par un cordon littoral de 5 km environ. Elle est le principal milieu récepteur des eaux usées industrielles de l'agglomération d'Abidjan. Chaque année (Octobre-Février), les végétaux aquatiques envahissent le plan d'eau lagunaire. C'est l'eutrophisation lagunaire. Elle constitue la pollution la plus spectaculaire et la plus gênante de la lagune Ebrié rendant difficile ou empêchant ainsi le transport lagunaire (Figure 7). Ces végétaux rencontrés sur le plan d'eau de la lagune Ebrié sont : la laitue d'eau (*Pistia stratiotes* L.), la fougère flottante (*Salvinia molesta* Mitchell) et la jacinthe d'eau (*Eichornia crassipes* Mart). Ils tirent leurs éléments nutritifs riches, en provenance des rejets industriels en putréfaction dans le milieu aquatique. Ce qui favorise leur forte prolifération et meilleur développement.

Selon le Ciapol (1998), les périodes de première apparition en Côte d'Ivoire de ces trois principales espèces sont : les salades d'eau (*Pistia stratiotes* L.), originaire d'Afrique du Nord, ont fait leur première apparition en 1980 ; les fougères d'eau (*Salvinia molesta* Mitchell), originaire d'Amérique du Sud dont la première invasion date de 1985 ; et les jacinthes d'eau

(*Eichornia crassipes* Mart) originaires d'Amérique du Sud, sont apparues pour la première fois en 1986. elles seraient introduites en Côte d'Ivoire par des horticulteurs imprudents.

Outre les impacts physiques des effluents industriels liés aux polluants chimiques et organiques, ces polluants peuvent aussi engendrer des problèmes sanitaires sur la population et les espèces aquatiques.

Impacts sanitaires sur les conditions de vie des riverains

La précarité des habitats autour des zones industrielles et l'absence de lotissement ne permettent pas aux résidents et riverains de bénéficier des équipements et services socio-collectifs. Aussi, pour s'approvisionner en eau potable, a-t-on recours à des voies détournées à travers des puits d'environ 3 à 6 m. La plupart de la population vit dans des conditions mauvaises (53,4%) tandis que 42% vivent dans des conditions moyennes. Seules 4,54% de la population, ont des meilleures

conditions de vie (Figure 8). La population vit à 67% dans des habitats de type précaire et à 33% dans des habitats de type moderne.

La dégradation de l'environnement affecte particulièrement les pauvres dont les groupes les plus vulnérables sont les enfants, les femmes et les personnes âgées. Elle favorise en zones industrielles la constitution de foyers de maladies, surtout celles dont les vecteurs prolifèrent dans l'eau. Ces maladies diversifiées, sont : le paludisme (68,4%), la fièvre typhoïde (12,2%), les maux de ventre (9,2%), le choléra (3,1%) et les pieds d'athlète (1%). Ces maladies, comme le paludisme et la diarrhée due au cholera, sont constatées par ailleurs dans les quartiers du bassin à Yaoundé (Ngnikam, 2007).

Les populations des zones industrielles sont assujetties à des maladies dont les coûts des traitements sont fonction de la gravité du mal et des potentialités financières individuelles. A ce titre, le coût du traitement peut varier de 5000 à 55000 F.CFA, et même au delà.

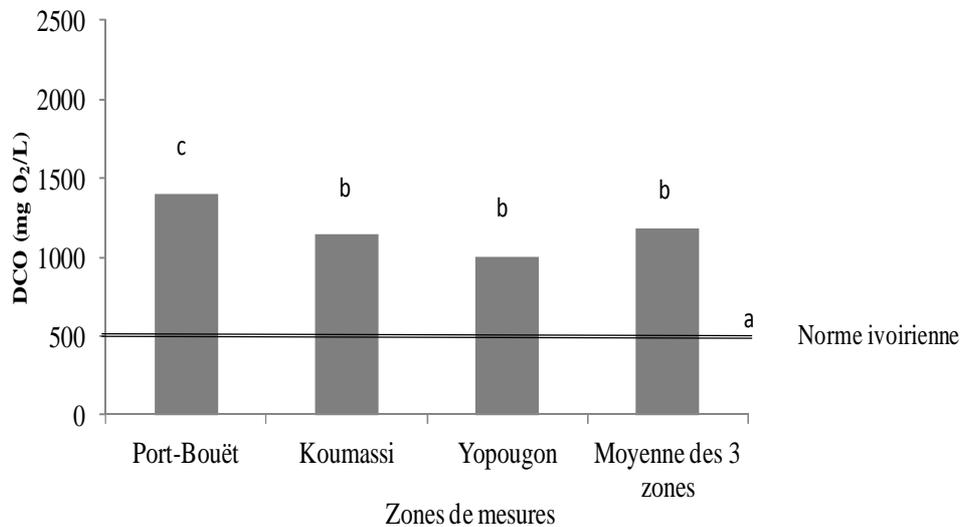


Figure 1: Variation de la DCO (mg O₂/l) des rejets industriels d'Abidjan. Les histogrammes suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

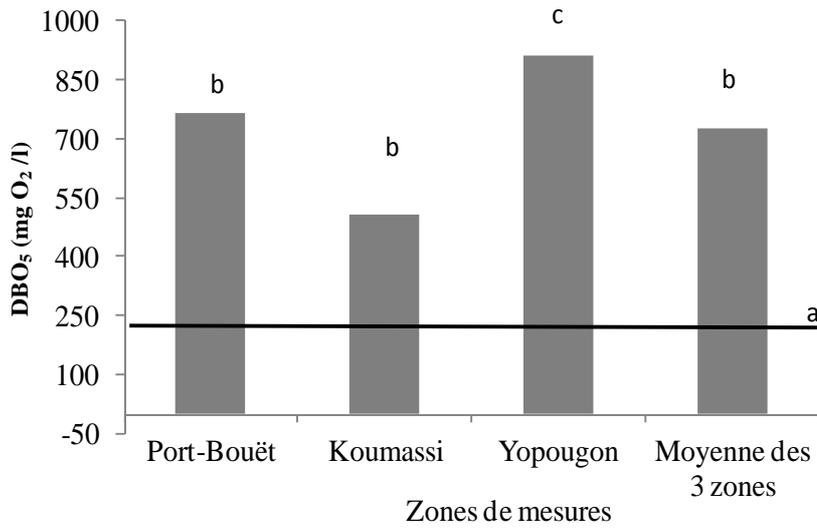


Figure 2: Variation de la DBO₅ (mg O₂/l) des rejets industriels d'Abidjan. Les histogrammes suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

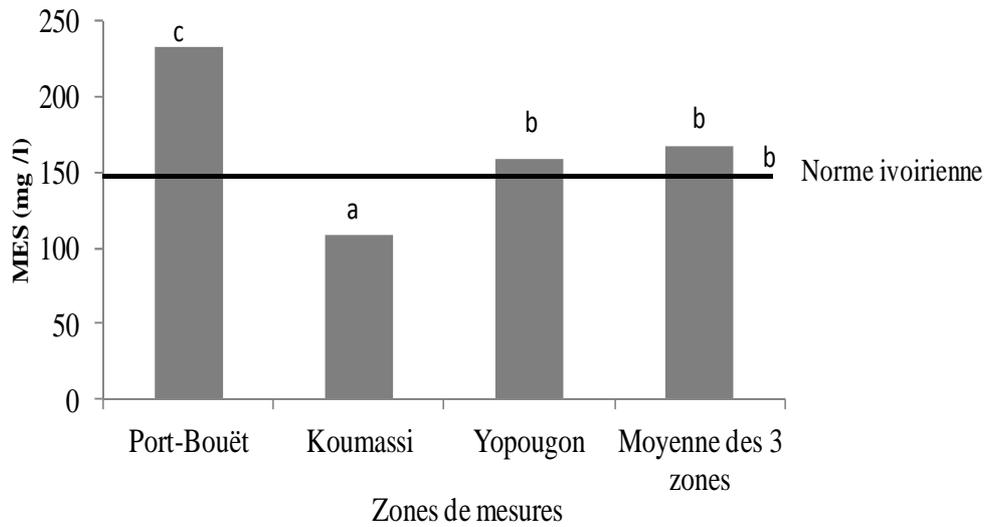


Figure 3: Variation des MES (mg/l) des rejets industriels d'Abidjan. Les histogrammes suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

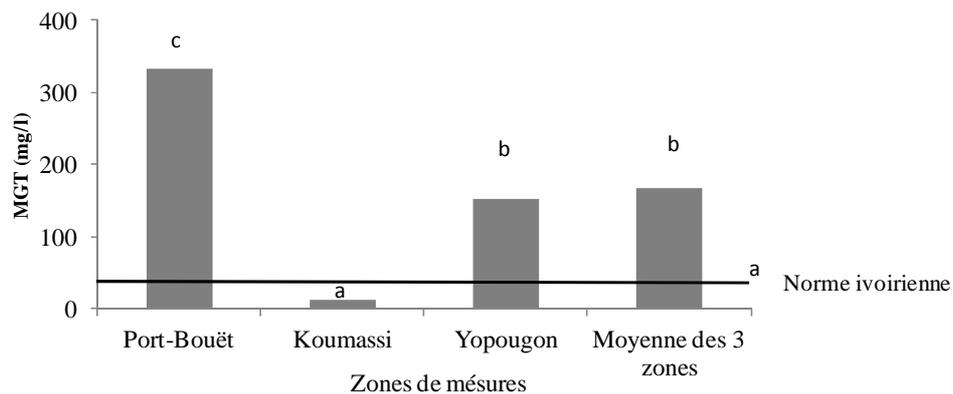


Figure 4: Variation de la MGT des rejets industriels d'Abidjan. Les histogrammes suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

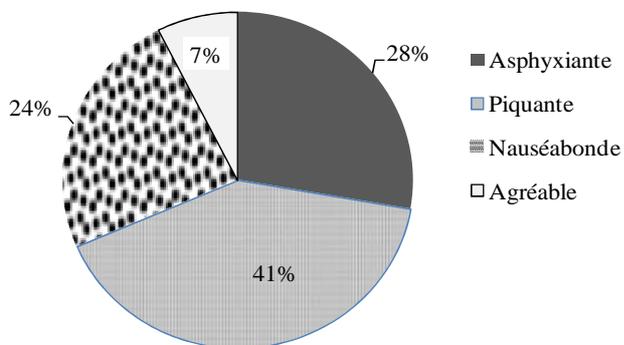


Figure 5: Typologie des odeurs dégagées en zones industrielles.



Figure 6: Egout bouché en zone industrielle, drainant des eaux usées à l'air libre et en bordure du trottoir (Z.I YOPOUGON).

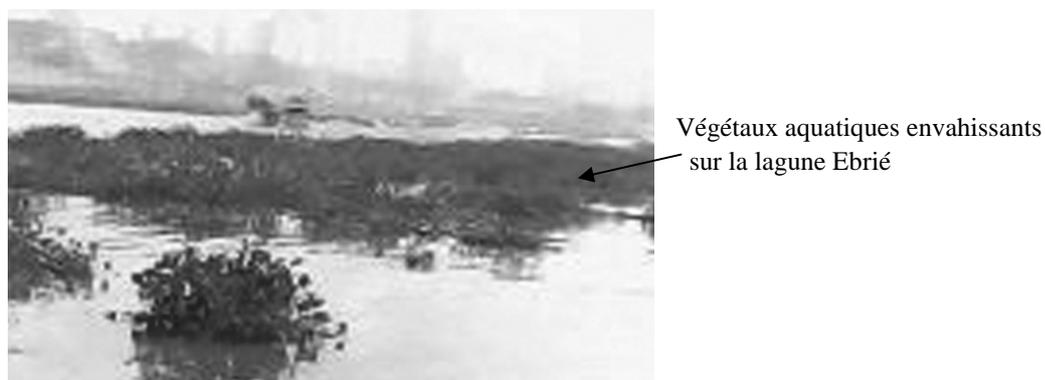


Figure 7: Phénomène d'eutrophisation de la lagune Ebrié par les végétaux aquatiques.

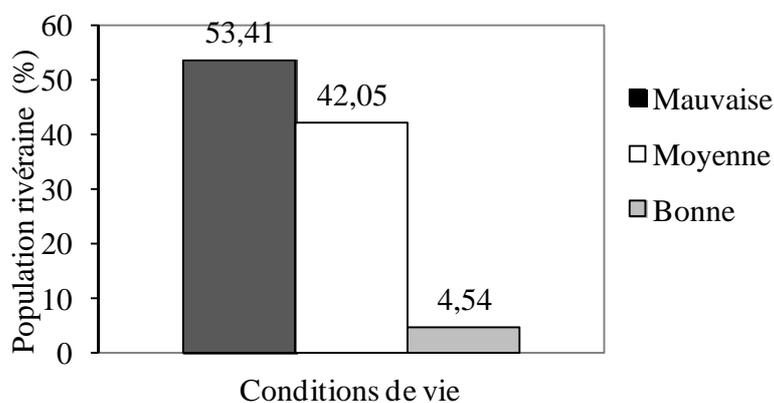


Figure 8: Pourcentage des résidents en fonction de la qualité de vie en zones industrielles.

Tableau 2 : Variation du pH en fonction des zones industrielles d'Abidjan.

Zones de mesure	Valeur	Ecart-type
pHi	6,5 - 9,5 a	-
YOP	7,5 a	2,5
KOUM	9,05 a	2,6
PB	8,02 a	3,2
MOYENNE	8,19 a	2

pHi : Norme ivoirienne ; YOP : potentiel d'hydrogène de Yopougon, KOUM : potentiel d'hydrogène de Koumassi ; PB : potentiel d'hydrogène de Port-Bouët ; Les chiffres suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

Tableau 3: Variation de la température (T °C) en fonction des zones industrielles d'Abidjan.

Zones de mesure	Valeur	Ecart-type
Ti	40 a	-
YOP	33,12 a	7,5
KOUM	40,65 a	11,4
PB	30,57 a	15,6
MOYENNE	34,78 a	13,8

Ti : Norme ivoirienne ; YOP : température de Yopougon ; KOUM : température de Koumassi ; PB : température de Port-Bouët. NB : les chiffres suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

Tableau 4: Coefficient de biodégradabilité des effluents industriels.

	Port-Bouët	Koumassi	Yopougon	Moyenne des 3 zones	Norme ivoirienne
DCO (mg O ₂ /l)	1392,83	1149,09	1000	1180,64	500
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	765	509	910,03	728,17	150
DCO/DBO ₅	1,82	2,25	1,09	1,62	3,33

Tableau 5 : Niveaux de pollution des types d'industrie en fonction des paramètres mesurés.

Types d'industrie	PARAMETRES MESURES					
	pH	T (°C)	MGT (mg O ₂ /l)	MES (mg/l)	DBO ₅ (mg O ₂ /l)	DCO (mg O ₂ /l)
Agro-alimentaire	8,204 a	36,911 b	137,738 d	244,372 f	734,268 h	1158,233 k
Chimique	6,863 a	29,959 b	134,649 d	309,733 f	579,289 h	1821,656 j
Norme ivoirienne	7,5 a	40 b	10 c	50 e	100 g	300 i

Les chiffres suivis de la même lettre ne présentent pas de différence significative au seuil de 5%.

Tableau 6 : Analyse des variances avec tous les effets d'interactions.

TOUS LES EFFETS					
Tests Univariés de Significativité pour VALEURS (Graphe)					
Paramétrisation sigma-restreinte Décomposition efficace de l'hypothèse					
Effet	SC	Degré de Liberté	MC	F	p
ord. origine	3750738	1	3750738	15,63662	0,000344
QTIER	77567	2	38783	0,16169	0,851323
PARAM	11249676	11	1022698	4,26357	0,000449
QTIER*PARAM	427663	22	19439	0,08104	1,000000
Erreur	8635281	36	239869		

QTIER : Zones industrielles d'Abidjan ; PARAM : Paramètres mesurés ; QTIER*PARAM : Interaction Zones industrielles et Paramètres mesurés.

DISCUSSION

Les résultats obtenus suite à l'analyse des effluents liquides aux sorties des usines, dans les égouts et canalisations de drainage, montrent que les paramètres étudiés (la DCO, la DBO₅, les MES et la MGT) sont au delà de

la norme ivoirienne, à l'exception du pH et de la température (T).

Ainsi, les paramètres tels que la DCO, la DBO₅, les MES et la MGT, sont largement supérieurs à la norme ivoirienne (P = 0,000 < 5%) (Tableau 6). Ces rejets à la sortie des

usines sont source de pollution par drainage de l'effluent dans les milieux récepteurs lagunaires et marins.

La DCO élevée de la zone industrielle de Port-Bouët (1392,83 mg O₂/l), influence considérablement la moyenne à Abidjan qui atteint 1180,64 mg O₂/l. Cette valeur élevée à Port-Bouët pourrait être liée aux types d'industries installées. En effet, cette zone industrielle est surtout caractérisée pour la plupart par la présence d'industries chimiques et para chimiques. Les rejets sont en conséquence fortement chargés en matières chimiques. Ces industries ne respectent donc pas les critères de rejets ou bien le traitement réalisé serait inefficace.

La DBO₅ moyenne étant plus de 4 fois supérieure à la norme limite ivoirienne, un traitement mérite d'être réalisé avant rejet. Ce qui implique une forte pollution des eaux lagunaires. Ces résultats confirment les observations faites par Atta (1994) qui a évalué la pollution chimique de la DBO₅ par entreprise à plus de 30 mg O₂/l par jour. La DBO₅ seule participait à hauteur de 25% de la pollution de la lagune Ebrié. Un abattement sur ce paramètre reste indispensable.

Pour l'auto-épuration des eaux, le rapport DCO/DBO₅ donne une indication sur la biodégradabilité d'une eau usée (Tableau 4). Ce rapport serait généralement proche de 2,5 pour les eaux usées biodégradables (Benoit, 2002). Les valeurs obtenues (1,09 – 2,25) dans les présents travaux sont conformes à ceux de Benoit (2002). Ce qui confirmerait la biodégradabilité des effluents industriels d'Abidjan. S'il est démontré que les effluents qui se déversent dans la lagune sont biodégradables, il faut cependant remarquer que cela nécessite une forte consommation en oxygène. Ce qui va entraîner la réduction drastique de la teneur en oxygène dissous avec pour corolaire l'apparition des zones anoxies. Cette zone anoxie serait le siège des dégradations anaérobies des polluants entraînant des émissions de gaz de mauvaise odeur.

Par ailleurs, la valeur moyenne des MES (166,4 mg/l) des effluents industriels d'Abidjan respecte la norme ivoirienne. Ces résultats corroborent les travaux de Momou et al. (2010) quand ils confirment que les MES des eaux usées brutes sont comprises entre 48 mg/l et 2330 mg/l avec la moyenne du milieu lagunaire de 272 mg/l. Cette moyenne est inférieure à celle de 650 mg/l des MES obtenue au Togo (Bawa et al., 2006). La MES moyenne est de même conforme à celles des rejets laitiers des usines polyvalentes sur le territoire Français, soit 90 à 1 040 mg/l de MES dans les effluents (Corthondo et Trepos, 2004). Au regard des travaux de Marchand et Martin (1985) qui montrent que la plupart des polluants chimiques sont adsorbés sur les MES, elles s'avèrent comme un facteur de pollution, particulièrement de la lagune Ebrié (Affian et al., 2008). L'adsorption des polluants chimiques sur les MES drainées en milieu lagunaire, limite la pénétration de la lumière dans l'eau et se traduit par une diminution de la photosynthèse des phytoplanctons sous l'eau dont la conséquence est la réduction de l'oxygène dissous dans le milieu aquatique. Ce qui provoquerait la mortalité faunisque et floristique aquatique par asphyxie. Ces composés biologiques (organiques) associés aux effluents en putréfaction seraient par endroit source d'odeurs nauséabondes constatées de la lagune Ebrié.

L'une des causes profondes de la prolifération des végétaux aquatiques est due à l'excès d'éléments nutritifs dans l'eau, en provenance des déversements excessifs des déchets et rejets liquides domestiques (Djedjé et Kouakou, 2002; Lhote, 2000; Caipol, 1998) ainsi que des résidus de l'agriculture périurbaine (Parinet, 2000). Par ailleurs, les travaux de Colcanap et Dufour (1982), ont révélé que la plupart des industries produisent des déchets de composition semblable aux effluents domestiques. Par conséquent, les éléments nutritifs des végétaux aquatiques apportés en partie par les effluents industriels

en décomposition en milieu aquatique, confirmeraient l'origine de l'eutrophisation lagunaire par les installations classées (usines) d'Abidjan. Ce qui justifierait le constat de l'état physique de la lagune Ebrié, principal réceptacle (Figure 7) où les lieux de déversement des effluents sont caractérisés par une prolifération intense des végétaux aquatiques à morphologie bien développée sur le plan d'eau.

Par contre, les teneurs en matières grasses (MGT) supérieures à 500 mg/l dans les eaux résiduaires, après drainage, sont susceptibles de gêner de façon considérable l'exploitation des stations d'épuration des eaux usées d'Abidjan en colmatant ou en obstruant la canalisation. Ce qui justifierait le nombre élevé de stations d'épuration d'Abidjan non fonctionnelles. Les différences statistiques constatées au niveau de Yopougon et de Port-Bouët ($P < 5\%$) sont des forts signaux qui devraient permettre aux inspecteurs et agents à charge du contrôle de l'environnement, de veiller à ce paramètre pendant les prospections de ces zones. Un effort d'abattement de ces paramètres au-delà de la norme ivoirienne sur les effluents industriels, doit être fait avant tout rejet par les entreprises.

Quant au pH des échantillons analysés, bien que conforme à la norme ivoirienne, il peut susciter de petites inquiétudes. En effet, il est un facteur essentiel au développement microbien. Le pH du milieu récepteur aquatique dépend des apports extérieurs du fait des effluents rejetés, dans la mesure où des réactions physico-chimiques et biologiques y ont lieu (Parinet, 2000). Cependant, pour la plupart des espèces aquatiques, la zone de pH favorable se situe entre 5 et 7,2 (Rodier, 1996), alors que celui des rejets d'Abidjan est en moyenne 8,2 et est supérieur à la norme du biotope aquatique

Les températures (T) élevées de l'eau résiduaire en migration vers le réceptacle naturel assurent un transfert de chaleur et

entraînent une baisse considérable de concentration en oxygène dissous de la lagune et favorisent du coup la fermentation qui aboutit aussi au dégagement d'odeurs nauséabondes. Par contre, la baisse de température serait responsable de l'augmentation de la viscosité et de la réduction de la vitesse de sédimentation du milieu récepteur.

Mais, en dépit de la conformité des pH et T à la norme ivoirienne, les valeurs peuvent varier d'une zone industrielle à une autre. Ces paramètres (pH et T) doivent être surveillés avec beaucoup d'attention afin de les rectifier, les maintenir constants et conformes à l'optimum de développement microbien du milieu récepteur. De même que le Mali, les entreprises ivoiriennes disposent très peu d'informations (22% au Mali) (Dnacpn, 2007) sur leurs rejets et équipements de traitement (1% en Côte d'Ivoire). Certes, certains déchets ne présentent pas de danger en tant que tels pour la santé humaine, mais leur mode de gestion, notamment lorsqu'ils sont incinérés ou stockés, peut engendrer des problématiques de santé publique (Observatoire, 2010).

Au regard de la manifestation des impacts engendrés par les effluents industriels sur les activités lagunaires (Figure 9) que sont la pêche, le transport, la baignade, le sport et loisir, la lessive, l'agriculture périurbaine et le tourisme, des solutions idoines et appropriées seraient envisageables. Elles concernent en l'occurrence les industriels qui devraient : disposer de matériel efficace pour le traitement des eaux résiduaires ; à défaut ils devraient faire traiter leurs effluents avant leurs rejets par des structures privées. L'état devra jouer son rôle régali en matière de contrôle des installations classées en effectuant au moins deux visites inopinées par an comme recommandées ; les structures de contrôle doivent appliquer à la rigueur la loi contre ceux qui ne la respectent pas et cela par des sanctions.

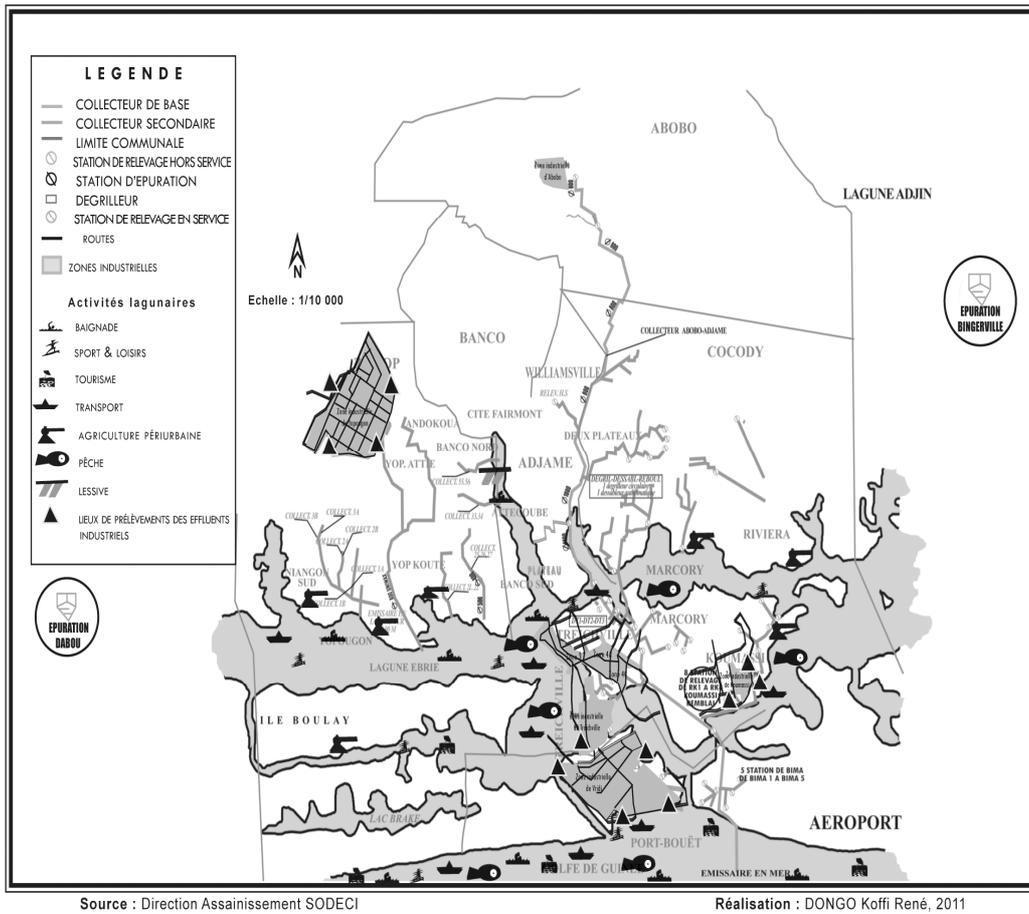


Figure 9: Localisation des lieux de prélèvements des effluents industriels et les activités économiques lagunaires d'Abidjan.

Conclusion

Il ressort de cette étude que les effluents industriels en Côte d'Ivoire et particulièrement ceux d'Abidjan présentent des impacts de pollution sur l'environnement. L'ampleur de cette pollution a été mesurée à partir des indicateurs tels que : la T °C, le pH, la DCO, la DBO₅, la MES et la MGT. Les valeurs hors norme de ces paramètres montrent que l'environnement aquatique est pollué et engendre des problèmes environnementaux (dégagement d'odeurs nauséabondes,

prolifération des maladies endémiques, et la dégradation rapide des cadres et condition de vie des populations riveraines). Le diagnostic révèle l'absence de station de traitement des eaux résiduaires et des rejets industriels. Face à ce grave constat, des solutions appropriées et idoines doivent être adoptées en termes de protection des milieux récepteurs et des populations mais aussi par la sensibilisation de tous les acteurs du secteur industriel. Un abattement des paramètres en deçà des normes devrait être envisagé.

Ce travail montre la nécessité d'améliorer la qualité des eaux usées industrielles par un traitement adéquat avant rejets. Ce qui permettrait d'éviter la contamination du milieu lagunaire utilisé à différentes fins par les populations d'Abidjan.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment leur gratitude au Centre Ivoirien Antipollution (CIAPOL) et le Laboratoire National d'Essais de Qualité, de Métrologie et d'Analyses (LANEMA) pour leur appui technique.

REFERENCES

- Affian K, Kadio B, Djagoua EV, Djigbehi ZB, Monde S, Wognin AV, Adonis KD, Mobio A. 2008. Flux de la matière en suspension du fleuve Comoé de la zone littorale ivoirienne. *Rev. CAMES*, **6**: 88-93.
- Afnor. 1986. *Eau - Méthode d'Essai de l'AFNOR*. A.F.Nor edn : Paris.
- Aka D, Zanou B. 1994. Abidjan la Cosmopolite: une Etude Démographique de la Ville d'Abidjan. Editon Institut National de la Statistique: Abidjan.
- Anonyme. 2000. Annuaire des Entreprises de Côte d'Ivoire. Chambre de Commerce de Côte d'Ivoire : Abidjan.
- Anonyme. 2008. Arrêté n° 2008 - 1164 du 04 novembre 2008, portant sur la réglementation des Rejets et Émissions des Installations Classées pour la protection de l'Environnement. Ministère de l'Environnement et des Eaux et Forêts de Côte d'Ivoire, Abidjan.
- Antoine P, Dubresson A, Manou-Savina A. 1987. *Badiane «Côté Cours» pour Comprendre la Question de l'Habitat*. Edition Es. KATHALA – ORSTOM: Paris.
- Atta K. 1994. Profil environnemental d'Abidjan. In *Plan National d'Action Environnementale : Synthèse et Recommandations*. Université d'Abidjan : Abidjan ; 1-101.
- Banque Mondiale. 1994. Vers un développement durable en Côte d'Ivoire, Abidjan. Banque Mondiale.
- Bawa LM, Djaneye-Boundjou G, Boukari Y. 2006. Caractérisation de deux effluents industriels au Togo : étude d'impact sur l'environnement. *Afrique Science*, **2**(1): 57-68.
- Beaux JF. 2011. *L'Environnement Repères Pratiques* (2nd edn). NATHAN : Paris.
- Benoit B. 2002. Guide pour l'étude des technologies conventionnelles des eaux usées d'origine domestique. Editon Gouvernement du Québec. Canada.
- Berthier N. 1998. *Les Techniques d'Enquête*. SESJM/Armand Colin Editons: Paris.
- Cabrit-Leclerc S. 2008. *Fosse Septique, Roseaux, Bambous, Traiter Ecologiquement ses Eaux Usées?* Terre Vivante: Paris.
- Cantet J. 2007. *Pourquoi les Effluents Industriels sont-ils Difficiles à Traiter ?* Cahier des chroniques scientifiques : Paris.
- Ciapol. 1998. Lutte contre les végétaux aquatiques envahissant les plans d'eau pour améliorer, restaurer la diversité biologique. Ciapol : Abidjan: Côte d'Ivoire.
- Colcanap M, Dufour P. 1982. *L'Assainissement de la Ville d'Abidjan*. ORSTOM: Paris.
- Corthondo T, Trepos F. 2004. Traitement des effluents laitiers. http://www.apesa.fr/iso_album/traitement_effluents_laitiers.pdf

- Coulibaly B. 2001. Maîtrise des analyses des eaux usées. Cahier de Formation, Abidjan.
- Degremont. 1989. *Memento Technique de l'Eau* (9^e edn). Rueil-Malmaison.
- Dnacpn. 2007. Strategie nationale de gestion des déchets liquides au Mali. Direction nationale de l'hydrolique, Bamako.
- Djedjé OM, Kouakou KL. 2002. Spéciation des Lacs de Yamoussoukro et caractérisation du rôle de la jacinthe d'eau dans la cinétique de la phito-épuration. Institut National Polytechnique Houphouët, Yamoussoukro.
- Lhote A. 2000. Critères d'évaluation de la qualité de l'eau d'un système lacustre tropical, approche statistique. Thèse de Doctorat d'Université, Université de Poitiers, Poitiers, P. 147.
- Marchand M, Martin JL. 1985. Détermination de la composition chimique (hydrocarbures, organo-chlorés, métaux) dans la lagune d'Abidjan (Côte d'Ivoire) par l'étude des sédiments. *Oceanogr. Trop.*, **20**(1): 25-39.
- Metongo BS, Kaba N, Kouassi AM. 1993. Evaluation quantitative et qualitative des Effluents et des polluants : Cas de la Côte d'Ivoire et de la ville d'Abidjan. Centre de Recherche Océanologique, Abidjan.
- Momou KJ, Akoua-Koffi C, Traoré KS. 2010. Importance de la pollution organique et particulaire sur la persistance des Anterovirus dans l'Environnement à Yopougon. *Europeen Journal of Scientific Research*, **46**: 256-265.
- Ngnikam E, Mougoue B, Tietche F. 2007. Eau, Assainissement et impact sur la santé : étude de cas d'un écosystème urbain à Yaoundé. Actes des JSIRAUF, Yaoundé, 1-13.
- Observatoire RSN. 2010. Les déchets et la santé. Observatoire Régional de la santé Nord : Pas-de calais.
- Parinet B, Lhote A, Legube B, Gbongue MA. 2000. Etude analytique et statistique d'un système lacustre à divers processus d'eutrophisation. *Rev. Sci. Eau*, **13**(3): 237-267.
- Rodier J. 1996. *L'Analyse de l'Eau* (8^e edn). Dunod : Paris.