

Pratiques Traditionnelles de Gestion des Déchets Solides et Influences sur la Qualité du Sol dans la Ville de Porto-Novo au Sud du Bénin

Brice Saturnin DANSOU et Léocadie ODOULAMI

Laboratoire Pierre PAGNEY, Climat, Eau, Ecosystème et Développement LACEEDE)/DGAT/FLASH/ Université d'Abomey-Calavi (UAC). BP :43 Abomey-Calavi, République du Bénin (Afrique de l'Ouest)



Résumé- A Porto-Novo, les déchets nuisent à l'homme et à son environnement. Ce travail a inventorié les modes de gestion des déchets et analysé leur influence sur la qualité du sol à Porto-Novo. Pour y parvenir, les données quantitatives et qualitatives socioéconomiques et anthropologiques relatives aux modes de gestion des déchets ont été collectées auprès de 600 ménages enquêtés. Elles ont été dépouillées puis traitées grâce aux outils de la statistique descriptive. Des échantillons de sols ont été prélevés et analysés au laboratoire pour comprendre les sources de pollution des sols à Porto-Novo. A cet effet, certains paramètres tels que la DCO, la DBO₅ et le cuivre, le nickel, le plomb, le cadmium et le mercure ont été recherchés dans les sols échantillonnés.

Il ressort de cette recherche que les 1^{er} et 3^{ème} arrondissements sont dominés par le rejet des déchets sur des parcelles vides, le brûlage à proximité des habitations et le rejet sur les dépotoirs sauvages. Le brûlage à proximité des habitations, l'abonnement à la pré collecte et l'utilisation pour le remblai sont les modes qui dominent dans le 4^{ème} et le 5^{ème} arrondissement. Quant au 2^{ème} arrondissement, les pratiques dominantes sont le rejet sur des parcelles vides, l'utilisation des déchets pour le remblai et aussi leur brûlage à proximité des habitations. Ces pratiques induisent la présence de la DCO et de la DBO₅ de même que les traces du cadmium, du plomb et du mercure dans les échantillons de sols sous l'action combinée des facteurs climatiques et pédologiques.

Mots-Clés- Bénin; Ville de Porto-Novo ; Déchets ; Pollution Organique et Métallique ; Sol.

Abstract- In Porto-Novo, waste to humans and their environment. This work inventoried waste management methods and analyzed their influence on soil quality in Porto-Novo. To achieve this, the quantitative and qualitative socio-economic and anthropological data related to the methods of waste management collected from 600 households surveyed. They were analyzed and then processed with the tools of the descriptive statistics. Soil samples were collected and analyzed in the laboratory to understand the sources of soil pollution in Porto-Novo. Such an effect, certain parameters such as COD, BOD₅ and copper, nickel, lead, cadmium and mercury were sought in the soils sampled.

It consists of the fact that the first and the new districts are dominated by the dumping of waste on the plots, the burning near houses and the rejection of wild dumps. Burning near homes, the pre-collection subscription and the use for reimbursement are the dominant modes in the 4th and 5th districts. As for the 2nd district, the dominant practices are the rejection on the empty plots, the use of the waste for the backfill and also their burning near the houses. These practices induce the presence of COD and BOD₅ as well as traces of cadmium, lead and mercury in soil samples under the combined action of climatic and soil factors.

Keywords- Benin; City Of Porto-Novo; Waste; Organic and Metallic Pollution; Soil.

INTRODUCTION

L'urbanisation rapide et peu contrôlée des pays d'Afrique a causé la détérioration de l'environnement (Ahoussi et al., 2008). L'une de ces conséquences les plus inquiétantes en Afrique et particulièrement au Afrique de l'Ouest, réside

dans les problèmes de gestion des déchets (Agbair et Oyibo, 2009). Au Bénin, de fortes pressions sur l'environnement ont été enregistrées notamment dans le domaine de la gestion des déchets (Abiola, 2014). Cette situation se caractérise par une dégradation de plus en plus accrue de

l'hygiène et de la salubrité publique malgré la volonté et les grands efforts déployés par l'État.

Dans la ville de Porto-Novo, les pratiques traditionnelles d'évacuation des déchets par rejet dans la nature ou par brûlage occasionnels ont atteint leurs limites en termes d'encombrement spatial et de pollution de l'environnement (Vigninou, 2010). Malgré les initiatives prises par les autorités municipales, les formes de gestion des déchets se diversifient, les dépotoirs se multiplient ainsi que les risques de pollution. Ces problèmes d'inefficacité dans les approches de gestion des déchets justifient la présente étude qui ambitionne de contribuer à la connaissance de l'influence des pratiques de gestion des déchets sur la qualité du sol dans la ville de Porto-Novo. Ces constats soulèvent les questions ci-après :

- quelles sont les différentes pratiques de gestion des déchets dans la ville de Porto-Novo ?
- quelles sont les nuisances possibles de ces déchets sur la nature du sol ?

- Présentation de la ville de Porto-Novo

La ville de Porto-Novo est située sur le rebord sud du plateau de Terre de barre de Sakété-Pobé. Ce plateau est séparé de la plaine côtière dont l'altitude ne dépasse pas 10 m, par la lagune de Porto-Novo (Mondjannagni, 1977). Ce plateau s'incline du nord vers le sud avec une altitude qui varie entre 30 m et -10 m. La "Terre de barre" est décapée par endroit à la faveur de l'érosion, donnant quelques dépressions importantes dans la ville. Il s'agit des dépressions marécageuses de Vakon et de Zounvi à l'ouest, celles de Donoukin et de Kaouéné au sud-est et la grande dépression d'Adjaran-Glimè. Il existe également des dépressions fermées assimilées à des dolines qui jalonnent le plateau dont certaines sont utilisées comme des dépôts d'ordures ménagères (Alassane, 2000). Souvent alignées de part et d'autre des têtes des principaux talwegs, les dépressions fermées sont nombreuses sur les rebords du plateau (Mondjannagni, 1977).

La ville de Porto-Novo se trouve dans le sud-est du Bénin à 32 km de la ville de Cotonou. Elle est subdivisée en cinq arrondissements et couvre une superficie de 5274 hectares (Vigninou, 2010). Elle est située entre 6°26' et 6°31' de latitude nord et entre 2°34' et 2°40' de longitude est. Elle est limitée au nord par les communes d'Akpro-Missérété, d'Avrankou et d'Adjarra, au sud par la commune de Sèmè-Podji, l'est par la commune d'Adjarra et à l'ouest par la commune des Aguégoué (figure 1).

Pour réaliser l'étude, une méthodologie a été élaborée.

I. DONNEES ET METHODES

1.1 Données utilisées

Les données utilisées dans cette étude sont de nature socio économique, anthropologique et environnementale. Les données socio économique et anthropologique sont collectées sur le terrain auprès de 600 personnes retenues suivant un choix raisonné et trente cinq structures de pré-collecte qui interviennent dans la ville de Porto-Novo. Ces données portent sur les modes populaires de gestion des déchets de même que leurs effets. Elles sont complétées par des données environnementales relatives à la facette pédologique et à la qualité du sol dans la ville de Porto-Novo. Pour comprendre le mécanisme de pollution du sol, les données pédologiques ont été complétées par celles climatiques (Hauteurs de pluie, température et humidité relative) obtenues à la station pluviométrique de Porto-Novo et à l'ASECNA.

1.2 Méthodes utilisées

1.2.1 Analyse des pratiques traditionnelles de gestion des déchets

Avant d'analyser les pratiques traditionnelles de gestion des déchets, elles ont été d'abord identifiées à partir des enquêtes de terrain, leurs forces. Leurs forces et faiblesses ont été ressorties grâce à la revue documentaire et des discussions avec les acteurs de la gestion des déchets en se fondant sur les normes de gestion des déchets au Bénin contenues dans la loi cadre sur l'environnement. Les différentes notes prises lors des observations faites dans la ville ont servi à faire des comparaisons et des synthèses. A l'aide de la technique de triangulation, les informations recueillies ont été méthodiquement analysées.

1.2.2 Mécanisme de pollution de l'environnement

Le mécanisme de pollution de l'environnement a été mis en exergue à travers l'analyse de l'interrelation entre les facteurs climatiques et les caractéristiques pédologiques ainsi que leurs influences sur les composantes de l'environnement. Pour montrer l'effet des facteurs climatiques dans le mécanisme de pollution de l'environnement, les données climatiques ont été exploitées. La moyenne arithmétique qui est l'outil statistique le plus fréquemment utilisé dans les études climatologiques a servi pour traiter lesdites données. Dans cette étude, elle a été utilisée d'abord sous forme de normale. Elle s'obtient en faisant la somme des valeurs distinctes qui ont été observées, chacune d'elles étant affectée d'un poids égal à sa fréquence. Elle s'exprime de la façon suivante :

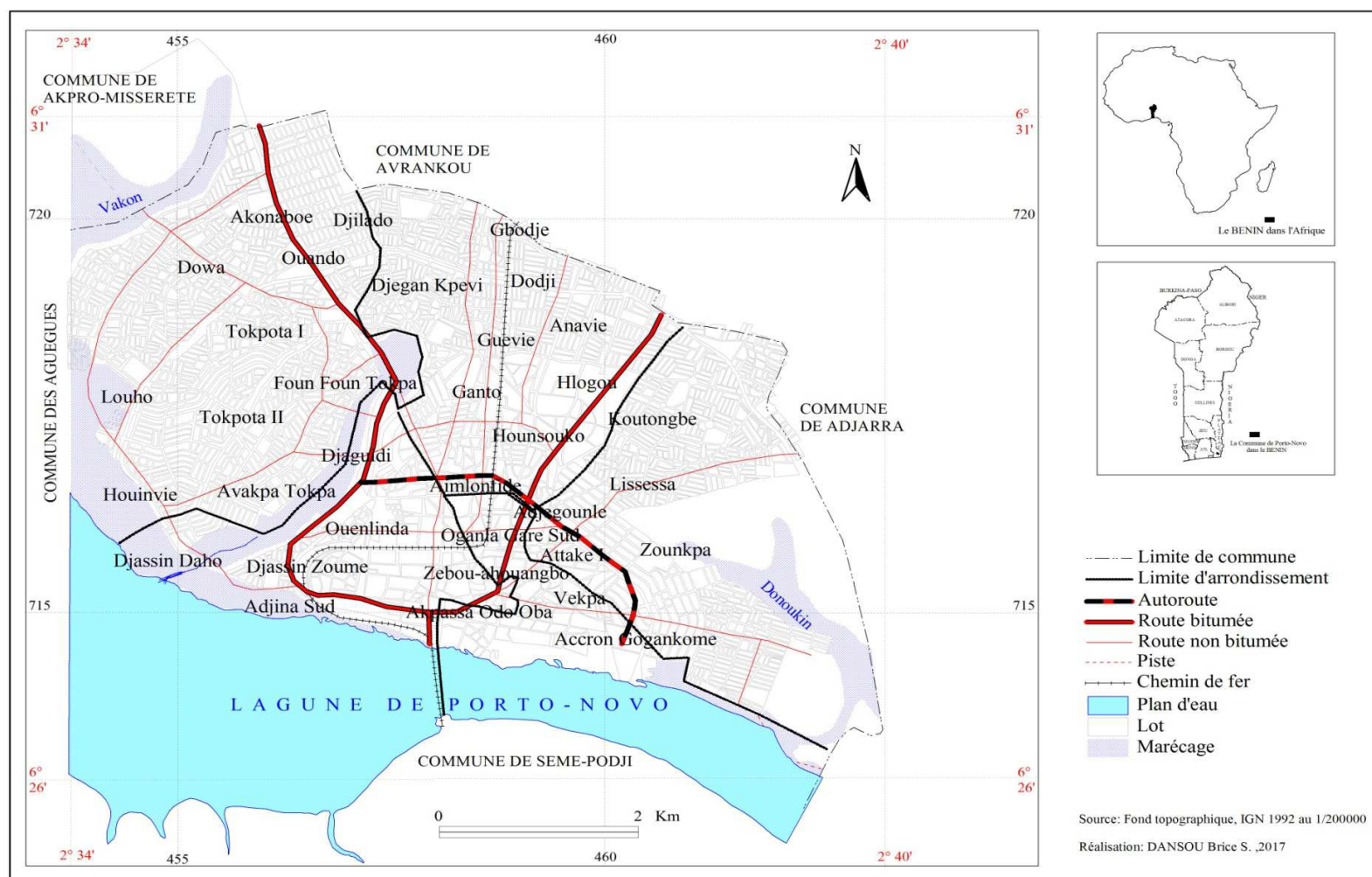


Figure 1 : Localisation géographique de la ville de Porto-Novo

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

avec :

n, l'effectif total des variables x_i considérées ainsi x peut désigner la hauteur annuelle ou mensuelle ou journalière des

pluies. La moyenne $\bar{x}$ a également été utilisée pour montrer l'influence des paramètres climatiques sur la gestion des déchets dans la ville de Porto-Novo.

1.2.3 Méthodes d'analyse des échantillons de sols

- Approche de prélèvement et d'analyse des échantillons de sols

L'insuffisance de moyens techniques a amené à retenir seulement six (06) sites situés dans le 3^{ème} et le 5^{ème} arrondissement pour les prélèvements des échantillons des sols. Les critères de choix sont les suivants : l'ampleur de la décharge (étendue, fréquentation, diversité des déchets

déposés); la décharge en cours d'utilisation par les populations et par les structures de pré collecte des déchets, la proximité de la décharge des lieux d'habitation et la concentration humaine de ces sites. De plus, dans le souci d'affiner les analyses, une zone témoin a été identifiée sur la base des critères suivants :

- la zone témoin est située dans la ville de Porto-Novo ;
- la zone témoin est une zone non urbanisée avec une faible empreinte humaine ;
- la zone témoin ne doit pas avoir des décharges de taille avec des déchets peu dangereux.

Ainsi, trois sites de prélèvement situés dans le 2^{ème} arrondissement ont été choisis. La figure 2 présente les coordonnées géographiques des sites retenus pour les prélèvements des échantillons des sols.

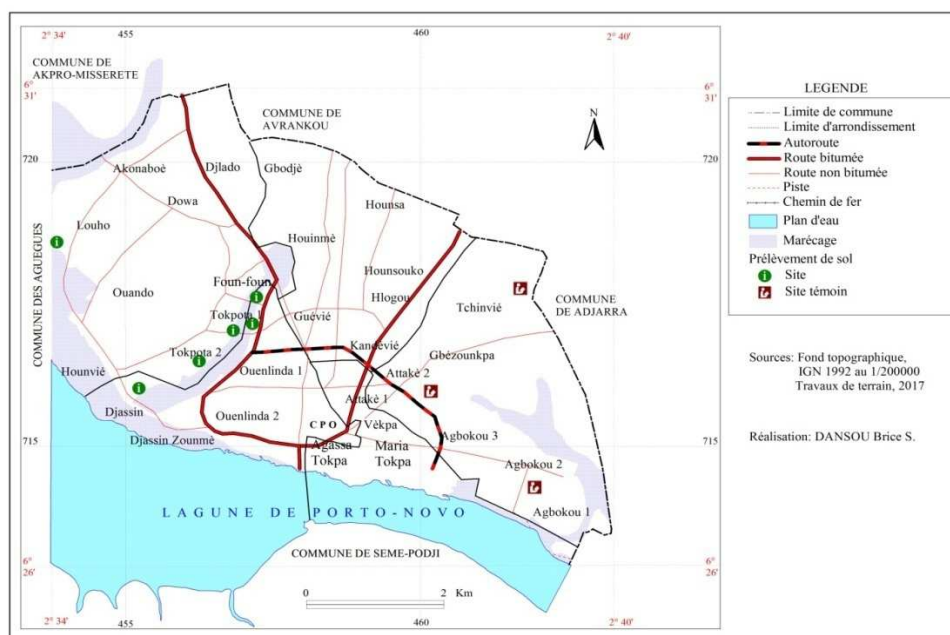


Figure 2 : Localisation des sites de prélèvements des sols

La figure 2 montre les six (06) sites sélectionnés et les trois (03) sites témoins identifiés pour les prélèvements des échantillons des sols. Sur les différents sites, l'examen du sol a été fait jusqu'à cent 100 cm de profondeur. Les échantillons ont été prélevés sur les décharges après décapage des déchets. Les premiers échantillons ont été pris au niveau des premières couches de sol retrouvées après le décapage des déchets qui représentent le niveau zéro. Ces

échantillons sont conservés dans des sachets et sont étiquetés. Les deuxièmes sont recueillis après avoir creusé jusqu'à 20 cm. Ils ont été récupérés à l'aide des boîtes cubiques dans leur structure naturelle. Pour les garder dans leur état, des bougies liquéfiées ont été étalées à la surface des échantillons avant la fermeture des boîtes. Les derniers échantillons ont été collectés à 100 cm de profondeur. Les techniques de prélèvement et de conservation ont été les

mêmes que celles suivies pour les échantillons prélevés à 20 cm.

Ces échantillons ont été analysés au Laboratoire des Sciences du Sol, Eaux et Environnement (LSSEE) du Centre de Recherches Agricoles d'Agonkanmey (CRA-Agonkanmey/INRAB).

Des matériels ont permis de faire le prélèvement des échantillons des sols.

Il s'agit :

- du GPS marque Garmin 60 qui a servi à prendre les coordonnées géographiques des profils ;
- de la machette pour déblayer le terrain ;
- de la pioche pour creuser les fosses ;
- du ruban de 100 mètres pour mesurer les différents horizons du profil ;
- de la pelle pour prélever les échantillons de sols à chaque niveau ;
- des boîtes cubiques pour stocker et conserver les échantillons de sols prélevés ;
- des sachets pour stocker les échantillons de sols.

- Paramètres analysés dans les échantillons des sols

Pour bien comprendre les sources de pollution des sols à Porto-Novo, certains paramètres tels que la DCO, la DBO₅ et les éléments métalliques ont été recherchés dans les sols échantillonnés. Les échantillons de sols ont été minéralisés avant le dosage des métaux lourds. Le protocole utilisé pour la minéralisation est celui recommandé par la norme AFNOR7NF X31-151 et utilisé par Prudent et *al.*, (1996). A l'issue des analyses des échantillons des sols, les valeurs mesurées sont comparées aux normes AFNOR et celles d'un sol normal (Brown cité par Yémadjè, 2015). De plus, les

statistiques descriptives (moyenne et coefficient de corrélation) des divers paramètres ont été déterminées à l'aide du logiciel Xlstat 2014.

1.2.4 Traitement statistique, graphique et cartographique

Les logiciels de traitement Xlstat et Excel ont été utilisés pour faire la statistique descriptive, le calcul des fréquences, des pourcentages et des moyennes. Les différences significatives ont été déterminées au seuil de probabilité $p < 0,001$ fortement significatif, $p < 0,01$ moyennement significatif et $p < 0,05$ faiblement significatif. Les tableaux, les graphes et les courbes ont été aussi produits avec le tableur Excel. Quand au traitement cartographique, il a consisté à géo référencées les données (les coordonnées géographiques des dépotoirs de déchets et des sols prélevées) collectées sur le terrain. Les fonds de cartes ont constitué la base de données pour la réalisation des différentes cartes. Le traitement des données par le logiciel Arc-view 5.2 a servi pour élaborer des cartes thématiques et de synthèses. Les résultats obtenus à l'issue de l'étude se présentent comme suit.

II. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1 Pratiques traditionnelles de gestion des déchets solides à Porto-Novo

L'élimination des déchets se fait de manière très variée dans la ville de Porto-Novo. Une partie des déchets est collectée par les structures de pré-collecte, tandis que l'autre partie est directement déversée dans la nature ou utilisée pour le remblai des bas-fonds, enfouie ou incinérée (figure 3).

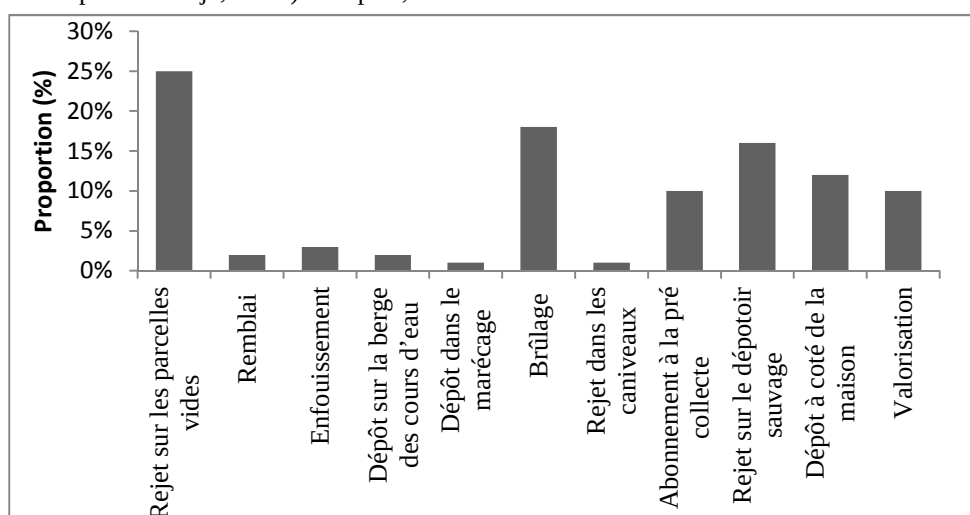


Figure 3 : Destination des déchets solides à de Porto-Novo

Source : Enquêtes de terrain, février-mars, 2017

La figure 3 présente les pratiques traditionnelles de gestion des déchets solides dans la ville de Porto-Novo. Cette figure montre que les principaux modes d'évacuation des déchets solides à Porto-Novo sont le rejet sur le dépotoir sauvage par 16 % des enquêtés, le brûlage par 18 % des enquêtés et le rejet sur les parcelles vides par 25 % des enquêtés. Le choix de ces modes s'explique par l'existence de dépotoirs sauvages dans l'environnement immédiat ou l'existence de parcelles non valorisées de même que des constructions inachevées. Pour les autres ménages, la proximité des marécages, des berges des cours d'eau, des caniveaux ou le besoin de remblai expliquent l'adoption des divers modes de gestion des déchets. Ces options sont contraires aux articles 2, 3 et 6 du code d'hygiène publique qui interdit tout dépôt d'immondices, de détritres sur les trottoirs, rues, places publiques, marécages, berges des cours d'eau, etc. Ces différents constats posent le problème du respect des textes qui régissent la protection de l'environnement au Bénin. Les travaux de terrain ont par ailleurs montré que l'abonnement aux structures de pré collecte par 10 % des enquêtés et la valorisation des déchets par 10 % des enquêtés témoignent que ces pratiques ne sont

pas encore partagées par tous les citoyens de la ville de Porto-Novo. Par ailleurs, il faut noter que la nature du déchet qui détermine aussi son mode de gestion.

2.2 Insuffisances des pratiques de gestion des déchets solides à Porto-Novo

Les insuffisances de la gestion des déchets solides dans la ville de Porto-Novo se rapportent à la faiblesse de la capacité d'enlèvement de ces déchets par les structures de collecte et aux mauvaises pratiques de la population. En effet, dans les ménages, une partie des déchets sont évacués aussitôt après ramassage sur des dépotoirs ou stockés dans des poubelles pendant un à six jours, soit jusqu'au moment où elles sont pleines avant d'être convoyés au niveau des sites de décharges. Parfois, elles séjournent dans les maisons des abonnés pendant près de deux semaines. Cette situation fait que certains ménages se désabonnent et ceux non abonnés n'ont plus le désir de s'abonner, car ils trouvent inopportun de payer entre 1000 à 2000 FCFA par mois pour un service non réalisé ou partiellement réalisé alors qu'il existe des dépotoirs (figure 4) à proximité des concessions où ils peuvent évacuer régulièrement leurs déchets sans aucune contrepartie.

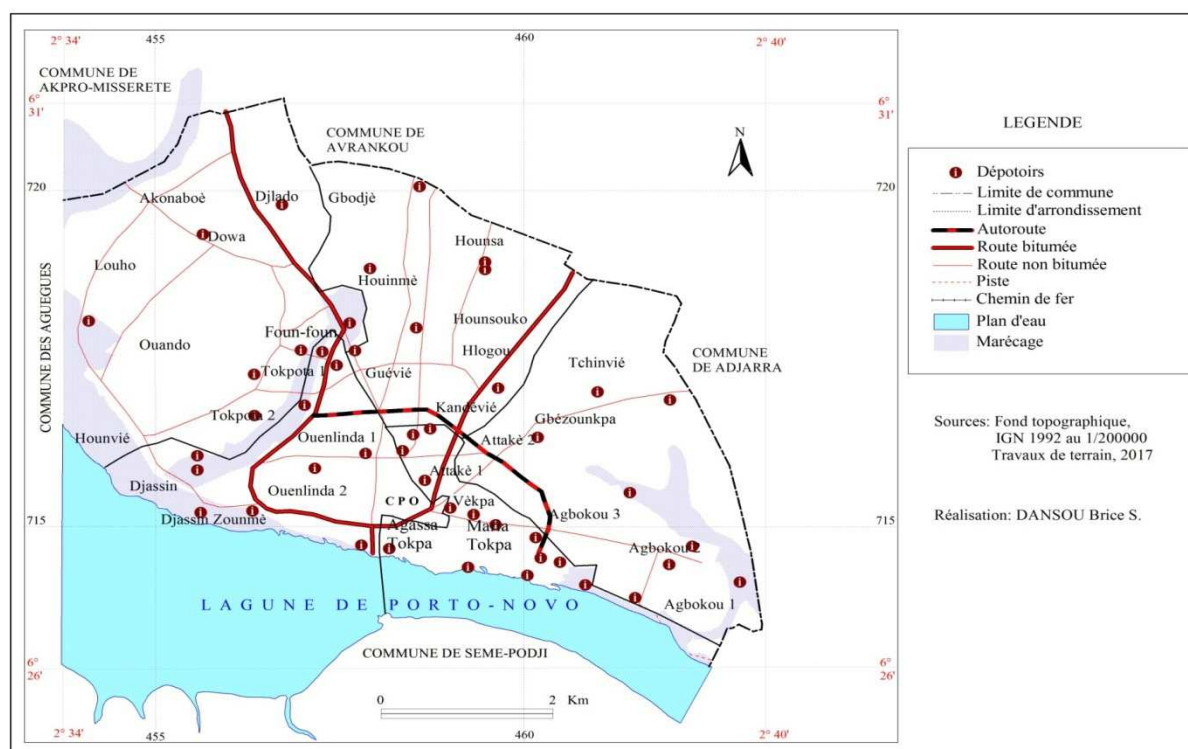


Figure 4 : Localisation des dépotoirs dans la ville de Porto-Novo

+La figure 4 présente la répartition spatiale des principaux dépotoirs sauvages dans la ville de Porto-Novo. Ces dépotoirs sont alimentés par les structures de pré collecte et les ménages riverains. Pour 85,71 % (soit 30/35) des responsables des structures de pré-collecte interviewés, les sites de décharges sont privés et leur utilisation demande des négociations. Elle peut être payante mensuellement ou gratuite. Dans le premier cas, le montant à payer aux propriétaires terriens varie entre 10 000 et 15 000 F CFA par mois. Dans le cas contraire, ce sont les propriétaires terriens

qui invitent les charretiers à venir déverser les déchets sur leur domaine situé dans les bas-fonds humides pour les mettre en valeur, sur les terrains inhabités et sur les berges de la lagune. Dans ce cas, les charretiers sont rémunérés ou non par les propriétaires des domaines. Ce type de contrat n'est pas toujours respecté, car les charretiers rompent le contrat s'ils trouvent mieux ailleurs. Il s'en suit une dispersion de petits dépotoirs dans toute la ville comme le montre la planche 1.



Planche 1 : Dépotoir sauvage logé derrière la direction Départementale de l'agriculture à Porto-Novo et Bas-fond comblé par des déchets à Djassin Tokpa

Prise de vue : Dansou, février 2017

La planche 1 montre un dépotoir situé derrière la direction départementale de l'agriculture de Porto-Novo, non loin de l'Assemblée Nationale (a) et un bas-fond comblé par des déchets à Djassin Tokpa dans la ville de Porto-Novo (b). A l'analyse, on constate que les dépotoirs jouxtent les habitations, les bas-fonds, les coins de rue. Selon 70 % des ménages enquêtés, le pullulement de ces immondices participe à l'insalubrité qui règne dans les quartiers. Dès lors, ces lieux deviennent très tôt des gîtes pour les mouches, les fourmis et autres insectes qui menacent la santé des ménages. Dans ce contexte de comblement progressif des zones humides et de multiplication des dépotoirs, l'impact environnemental semble encore plus évident et pose le problème de gestion urbaine. Ces résultats obtenus au cours de cette recherche corroborent ceux obtenus au Bénin par Odoulami et *al.*, (2013) à Ouidah, Ali (1995) à Parakou, Tchakpa (2015) à Cotonou, Vissin et *al.* (2012) et Yémadjè (2015) à Abomey-Calavi qui ont montré que les terrains en friche, les

dépotoirs sauvages, les bas-fonds sont les lieux privilégiés où sont déversés les déchets ménagers. Bras (2010), a aussi fait les mêmes remarques à Port-au-Prince (Haïti) où il a évoqué la prédominance des rejets des déchets sur les dépotoirs. Ces pratiques courantes et traditionnelles de gestion des déchets méritent d'être corrigées, car elles posent de véritables problèmes environnementaux.

2.3 Mécanisme de pollution de l'environnement

Pour comprendre le mécanisme de pollution de l'environnement, les facteurs climatiques et pédologiques ont été pris en compte.

2.3.1 Rôle de quelques paramètres climatiques dans la pollution de l'environnement

Porto-Novo jouit d'un climat subéquatorial caractérisé par deux saisons sèches et deux saisons pluvieuses (Boko, 1988). Les hauteurs moyennes de pluie sont centrées sur deux modes à savoir le mois de juin avec une moyenne de

296,73 mm et le mois de septembre avec une moyenne de 185,79 mm. La période de mi-novembre à mi-mars et de mi-juillet à mi-septembre correspond à la saison sèche et celle

de mi-mars à mi-juillet et mi-septembre à mi- novembre correspond à la saison pluvieuse (figure 5).

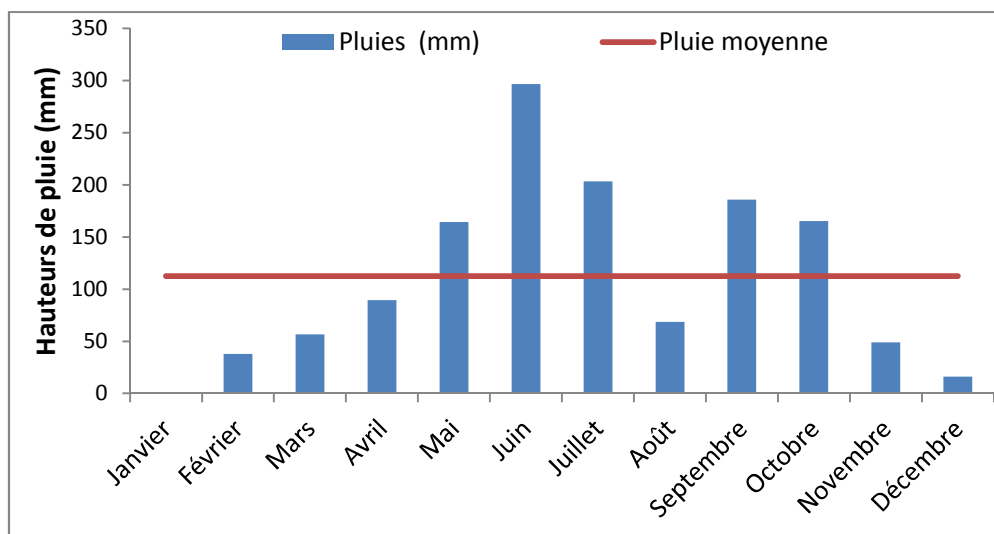


Figure 5 : Régime pluviométrique à Porto-Novo de 1980 à 2016

Source : Traitement de données de l'ASECNA, 2016

La figure 5 montre l'évolution des hauteurs mensuelles de pluie sur la période 1980-2016. Pendant la saison sèche, les valeurs minimales de l'humidité chutent jusqu'à 60 %, ce qui indique un niveau de siccité de l'air. En revanche, pendant la saison pluvieuse, les valeurs minimales dépassent 85 % alors que les valeurs maximales sont supérieures à 95 % (Boko, 1988). C'est au cours de la saison pluvieuse que se passent les processus d'humidification et de

décomposition des dépotoirs sauvages. Ce processus s'accélère sous l'influence de la température. La ville de Porto-Novo se trouve dans la zone subéquatoriale marquée par la chaleur constante et une forte humidité. Les températures moyennes minimale et maximale sont respectivement de 25,77 °C en août et de 29,09°C en mars (figure 6).

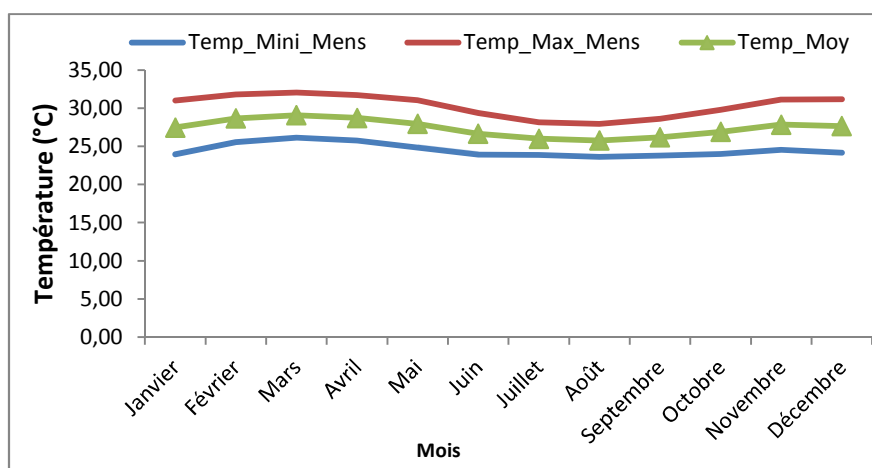


Figure 6 : Températures maximale, minimale et moyennes de la station de Cotonou

Source : Traitement de données de l'ASECNA, 2016

La figure 6 présente l'évolution des températures maximales, minimales et moyennes de la station de Cotonou. La température moyenne maximale oscille entre 28,15 °C en juillet et 32,06 °C en mars avec une amplitude de 3,91 °C et la température moyenne minimale est 23,61 °C en août et 26,13 °C en mars soit une amplitude de 2,52 °C. Ces conditions thermiques favorisent la décomposition des déchets et l'éclosion des œufs des moustiques et par conséquent la multiplication des moustiques, vecteurs du paludisme (Dansou et Odoulami, 2013). Elles accélèrent aussi la décomposition des détritiques bio dégradables des eaux usées déversées dans les crevasses des rues, des endroits marécageux ... Ceci favorise le pullulement des germes pathogènes et des polluants inorganiques toxiques nuisibles à l'organisme humain. Le même processus se déroule également dans les tas de déchets solides bio dégradables.

Les types de sols interviennent dans les processus d'infiltration et de ruissellement à travers leurs propriétés de perméabilité, dépendantes de leur structure et ou de leur texture.

2.3.2 Rôle des sols dans le mécanisme de pollution de l'environnement

Deux grands types de sols répartis en plusieurs sous classes sont identifiés dans la ville de Porto-Novo. Il s'agit des sols ferrallitiques et des sols hydromorphes.

Les sols ferrallitiques faiblement désaturés appauvris hydromorphes occupent une portion à l'est du plateau. Ils sont assez sableux en surface avec un taux de 5 à 15 % d'argile qui passe rapidement à 35 % entre 30 et 60 cm de profondeur puis à 45-50 % au-delà de cette profondeur (Azontondé, 1991). La perméabilité (K) est bonne et varie entre 5 et 8 cm.h⁻¹ en surface et devient moyenne (3-6 cm.h⁻¹) en profondeur. Cette bonne perméabilité est un facteur favorable à l'infiltration des matières polluantes dans le sol.

Quant aux sols ferrallitiques faiblement désaturés appauvris modaux, ils sont sableux en surface avec 10 à 20 % d'argile et argileux en profondeur (40-50 % d'argile). La

réserve d'eau est de l'ordre de 60 mm en profondeur. Leur perméabilité reste assez moyenne par rapport aux Terres de barre (Azontondé, 1991). Ces sols couvrent majoritairement la ville de Porto-Novo et comptent environ 80 % des dépotoirs sauvages de la ville. Leur perméabilité moyenne pourrait également faciliter le processus d'infiltration et de contamination. Les sols hydromorphes de texture plus lourde (30-60 % d'argile en surface) et de profondeur inférieure à 1 m ont une perméabilité moyenne en surface (4 à 5 cm/h) et faible en profondeur (1 à 2 cm/h). Ces sols interviennent dans les processus de transfert et de stockage des aquifères par leurs propriétés hydrodynamiques souvent dépendantes des paramètres climatiques.

L'action combinée de la pluviométrie qui est un facteur déterminant du ruissellement, de la chaleur et de l'humidité sur les décharges provoque une décomposition rapide des déchets qui dégagent des odeurs nauséabondes et pestilentielles dans l'atmosphère (Zahrani, 2006), attire les mouches et les rongeurs (rats, souris, cafards, chiens...). Quant aux lixiviats qui renferment de la matière organique dissoute et des composés minéraux, ils s'écoulent dans les plans d'eau à proximité des décharges, s'infiltrant dans le sol et contaminant ces derniers (Wastesum, 2010 et Daouda, 2012). Le sol étant le point d'intersection de plusieurs domaines (la biosphère, l'atmosphère, et l'hydrosphère), sa contamination affecte d'autres composantes de l'environnement comme la flore et les eaux souterraines (Piedrafita et Mariav, 2007).

2.4 Effets des déchets sur le sol

Pour mieux appréhender le degré de pollution du sol par les déchets, il a été procédé au prélèvement et à l'analyse de quelques échantillons de sols. L'objectif visé est de rechercher la présence ou non des paramètres organiques et métalliques.

2.4.1 Variations des paramètres DCO et DBO₅ des sols

Le tableau I indique les variations des paramètres DCO et DBO₅ des sols en fonction du niveau et du milieu de prélèvement.

Tableau I : Variation des paramètres DCO et DBO₅ en fonction du niveau et du milieu de prélèvement

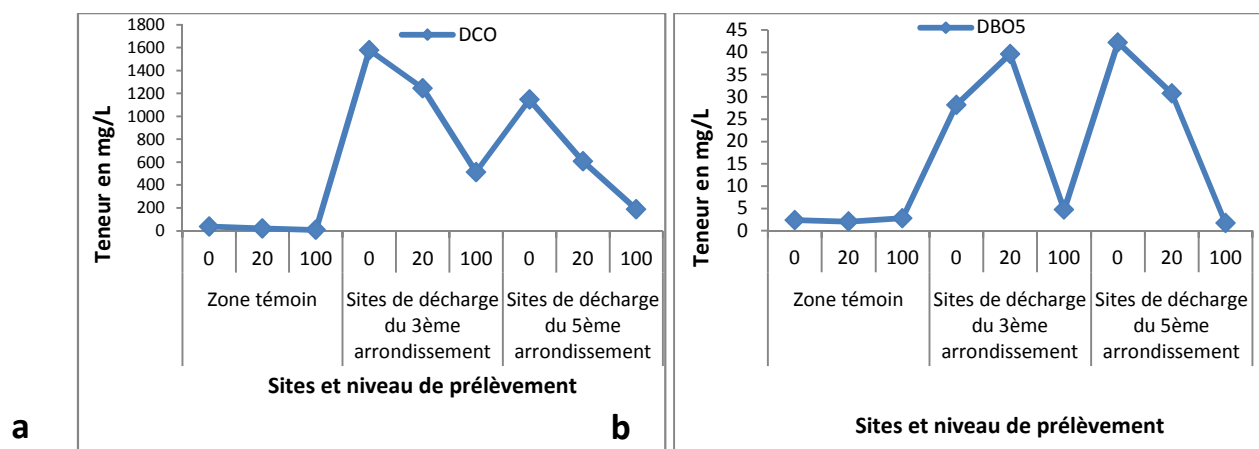
	Variables	DCO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)
	Profondeurs (cm)	Moyenne	Moyenne
Zone témoin	0	37,12	2,38
	20	20,39	2,05
	100	8,10	2,80
Sites de décharge du 3 ^{ème} arrondissement	0	1578	28,2
	20	1245	39,6
	100	512	4,7
Sites de décharge du 5 ^{ème} arrondissement	0	1145	42,2
	20	607	30,8
	100	187,8	1,7
Effet milieu de prélèvement	ns	ns	Ns
Effet niveau de prélèvement	ns	ns	*

ns = non significatif * = faiblement significatif au seuil de 5%

Source : Résultats d'analyse, septembre 2017

Le tableau I présente la DCO et la DBO₅ en fonction du niveau et du milieu de prélèvement. De l'analyse statistique, il ressort qu'au niveau de la DCO, il n'y a pas de différence significative par rapport au niveau de prélèvement et aux sites de prélèvement. En ce qui concerne la DBO₅, il n'y pas de différence significative par rapport aux sites de

prélèvement. Par contre, le niveau de prélèvement présente une faible différence significative au seuil de 5 %. Ceci signifie que les matières organiques sont plus concentrées en surface qu'en profondeur et témoignent de la migration de ces matières organiques vers le sol. La figure 7 présente les variations comparées des paramètres étudiés.

**Figure 7** : Variations des paramètres DCO (a) et DBO₅ (b) des sols

Source : Résultats d'analyse, septembre 2017

La figure 7 (a) montre que les teneurs moyennes en DCO sont sensiblement élevées au niveau des sols des sites de décharge et très faibles dans la zone témoin. Les teneurs maximums de la DBO₅ (figure 7 b) sont observées en surface. Elles semblent être plus faibles en profondeur hormis les sites de décharges du troisième arrondissement où elles sont élevées à 20 cm et ceux de la zone témoin à

100 cm. La teneur moyenne la plus forte en DBO₅ des sols des sites de décharges dépasse largement celle de la zone témoin.

Par ailleurs, il est remarqué que les teneurs en DBO₅ des sols sont très faibles dans la zone témoin, mais moyennement élevées sur les sites de décharges. La teneur moyenne la plus forte en DBO₅ des sols des sites de

décharges dépasse plus de 15 fois celle de la zone témoin. En plus des DCO et DBO₅, d'autres éléments métalliques ont été aussi recherchés dans les échantillons des sols.

2.4.2 Variations des éléments métalliques

Le tableau II résume la variation des métaux dans les sols en fonction des régions et de niveaux de prélèvement. Il en découle que les teneurs en métaux lourds (cuivre, nickel,

plomb cadmium et mercure) des sols sont faibles à l'exception du plomb à 0 cm sur les sites de décharge du 5^{ème} arrondissement qui a une concentration élevée par rapport aux normes.

Tableau II : Variation des éléments métalliques en fonction du niveau et du milieu de prélèvement

			Zone témoin			Sites de décharge du 3 ^{ème} arrondissement			Sites de décharge du 5 ^{ème} arrondissement				
	Normes		Profondeur			Profondeur			Profondeur				
Para-mètres	Normes sol normal	Normes AFNO R	0	20	100	0	20	100	0	20	100	Effet milieu de prélèvement	Effet niveau de prélèvement
Cu (mg/L)	30	100	4,98	1,1	4,46	9,23	2,89	10,45	5,30	2,24	2,34	ns	ns
Cd (mg/L)	0,35	2	00	00	00	0,17	00	00	00	00	0,52	ns	ns
Ni (mg/L)	50	50	1,95	1,85	4,43	3,39	2,62	3,32	1,47	2,30	0,89	ns	ns
Pb (mg/L)	35	100	4,15	0,86	00	3,2	0,79	5,78	213	0,87	2,09	ns	ns
Hg (mg/L)	0,02-0,1	1	00	00	00	0,03	0	0	0,15	0,04	0,08	ns	ns

ns = non significatif

Source : Résultats d'analyse, septembre 2017

Le tableau II présente la variation des éléments métalliques en fonction du niveau et du milieu de prélèvement. Les résultats statistiques ont montré que les teneurs moyennes de ces sols n'ont pas varié significativement ($p > 0,05$) du point de vue des profondeurs et des sites de prélèvement. Toutefois, l'observation de la figure 8 montre que les teneurs en ces métaux ont tendance à varier par rapport aux niveaux et aux sites de prélèvement.

Les concentrations moyennes des métaux étudiés sont inférieures aux teneurs de la norme en ces métaux dans un sol normal, quel que soit le site et le niveau de prélèvement à l'exception du plomb et du cadmium dont les teneurs

moyennes sont supérieures à cette norme respectivement à 0 et 100 cm. Ceci traduit une contamination du sol des sites de décharge du 5^{ème} arrondissement par le plomb à 0 cm et le cadmium à 100 cm. Ces sites sont également contaminés au mercure à 0 cm suivant la norme sol normal (tableau XII). Comparée à la norme AFNOR, il ressort également que la teneur moyenne des minéralisés des sols des sites de décharge contaminés par le plomb à 0 cm dans le 5^{ème} arrondissement est au-dessus de celle de la norme AFNOR (tableau II) ; ce qui confirme la pollution au plomb de ce sol à 0 cm. La figure 8 présente la variation comparée des paramètres étudiés.

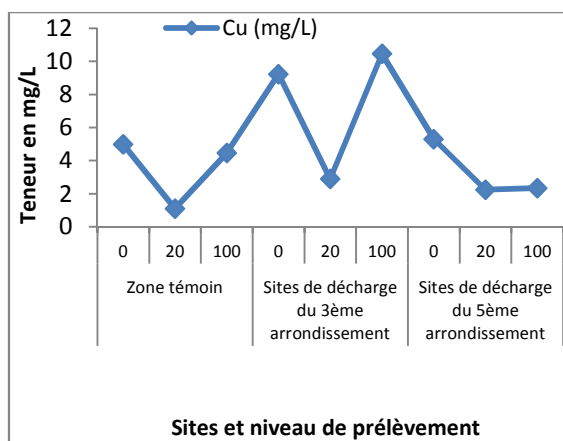


Figure 8 a : Variation des teneurs en Cuivre des échantillons de sols

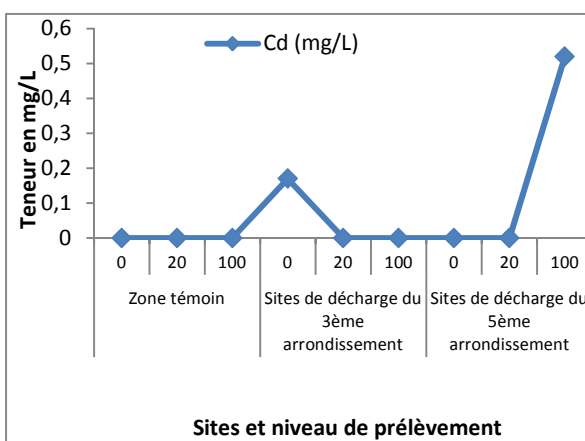


Figure 8 b : Variation des teneurs en Cadmium des échantillons de sols

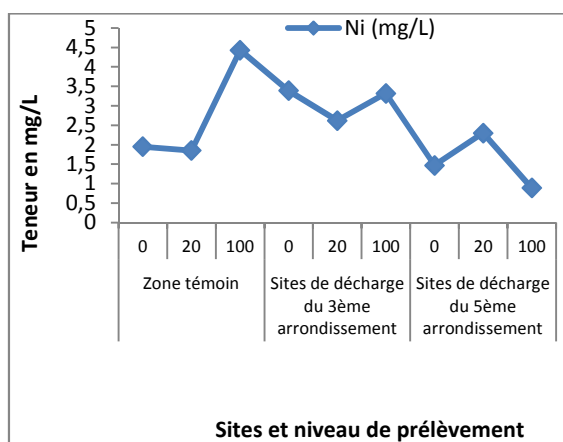


Figure 8 c : Variation des teneurs en Nickel des échantillons de sols

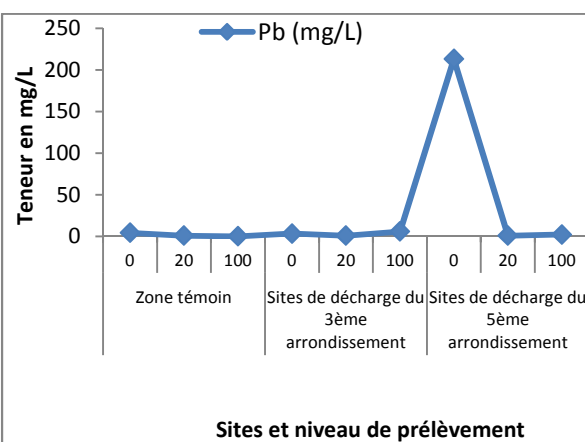


Figure 8 d : Variation des teneurs en Plomb des échantillons de sols

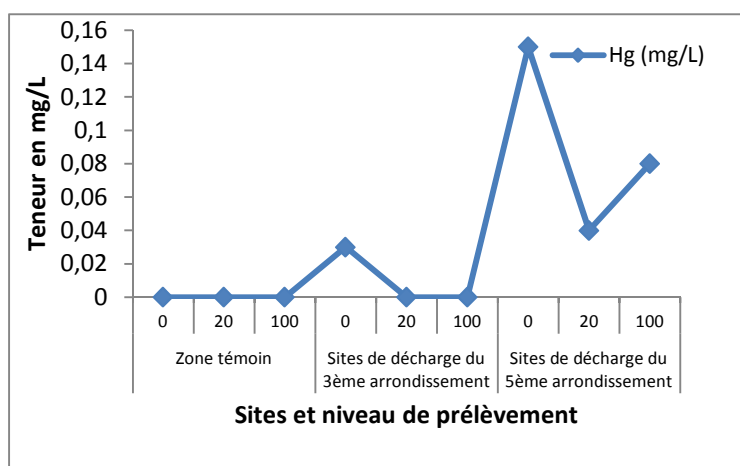


Figure 8 e : Variation des teneurs en Plomb des échantillons de sols

Figure 8: Variations des teneurs en métaux des minéralisats des sols en fonction des sites et des niveaux de prélèvement

Source : Résultats d'analyse, septembre 2017

La figure 8 présente les teneurs des métaux (Cu, Ni, Pb, Cd et Hg) dans les échantillons de sols prélevés. De l'analyse de la figure 39a, il ressort que les teneurs en cuivre paraissent avoir une variation uniforme au niveau de la profondeur. Elles sont plus élevées à 0 et 100 cm et plus faibles à 20 cm. A chaque niveau de prélèvement, les valeurs moyennes en cuivre des sites de décharge du 3^{ème} et du 5^{ème} arrondissement dépassent celles de la zone témoin à l'exception des sites de décharges du 5^{ème} arrondissement où la teneur en cuivre à 100 cm est inférieure à celle de la zone témoin.

De l'analyse de la figure 8b, il ressort que le cadmium a été quasi absent de l'échantillon de sol où sa teneur est inférieure à la limite de détection de l'appareil. Dans les sols de la zone témoin, ce paramètre n'a pas été détecté. Mais, sur les sites de décharge du 3^{ème} et du 5^{ème} arrondissement, il a été retrouvé 0,18 mg/l à 0 cm et 0,53 mg/l à 100 cm.

La figure 8c présente la teneur en nickel des échantillons de sols. Les valeurs moyennes obtenues suivent presque les mêmes variations en profondeur que le cuivre (figure 8a). Les fortes teneurs sont notées à 0 et 100 cm et les faibles à 20 cm hormis les sites de décharge du 5^{ème} arrondissement où la forte teneur est à 20 cm tandis que les faibles teneurs sont situées à 0 cm et à 100 cm. De plus, les valeurs moyennes à chaque niveau de prélèvement des sols sur des sites de décharges paraissent supérieures à celles de la zone témoin sauf le niveau superficiel sur les sites de décharge du 3^{ème} arrondissement et 0 cm et 100 cm sur les sites du 5^{ème} arrondissement.

S'agissant du plomb (figure 8d), les plus faibles teneurs sont obtenues à 20 cm. Les teneurs moyennes élevées sont notées à 0 cm sauf les sols des sites du 3^{ème} arrondissement où la forte teneur est enregistrée à 100 cm. Quant aux sites du 5^{ème} arrondissement, ils ont une forte teneur en mercure à 0 cm. La présence de ces métaux dans le sol constitue un grand risque pour toutes les composantes du milieu naturel en général et pour l'homme en particulier.

III. CONCLUSION

La récurrence et l'aggravation des pratiques populaires de gestion des déchets solides dans la ville de Porto-Novo posent des problèmes de salubrité publique. L'action combinée de la pluviométrie qui est un facteur déterminant du ruissellement, de la chaleur et de l'humidité sur les décharges provoque une décomposition rapide des déchets. De plus, les lixiviats qui renferment de la matière organique dissoute et des composés minéraux s'écoulent dans les plans

d'eau à proximité des décharges, s'infiltrant dans le sol et contaminant ces derniers.

A Porto-Novo, la gestion des déchets est une contrainte pour les pouvoirs publics qui doivent continuellement rechercher des solutions pour leur traitement et surtout répondre aux besoins des populations pour l'assainissement de leur cadre de vie. A cet effet, il est à suggérer la vulgarisation puis l'application des textes existants sur l'hygiène et l'assainissement en vigueur au Bénin. Il s'agit des articles 2, 3, 4 et 6 du code d'hygiène du Bénin qui interdisent le dépôt ou le déversement d'immondices, des eaux usées dans les rues, sur les voies publiques,... ou l'enfouissement des restes d'animaux et d'ordures sur les voies publiques, etc. pour la préservation de l'environnement en général et en particulier la santé de la population. Ceci permettra d'attirer l'attention des citoyens sur les possibles sanctions qui sont réservées à tous ceux qui enfreignent à ces dispositions. Il serait aussi intéressant de détruire certains dépotoirs et de les remplacer par des infrastructures socio communautaires. D'autres dépotoirs peuvent également être remplacés par des sites de collecte aménagés en commun accord avec les populations bénéficiaires. Le suivi de ces différentes mesures nécessite le renforcement de la police environnementale de la ville en personnel et en matériel de travail. Ceci leur permettra d'élaborer des modèles performants de suivi de l'assainissement des quartiers

REFERENCES

- [1] Abiola T. F. S., 2014 : Approche innovante d'assainissement durable dans les pays d'Afrique subsaharienne : valorisation en énergie et en engrais des déchets par la biométhanisation au centre ValDERA de l'Université d'Abomey-Calavi-bénin, thèse de doctorat unique de l'UAC, EDP, centre ValDERA, 253 p.
- [2] Agbaire O.P. et Oyibo P.I., 2009 : Seasonal variation of some physicochemical properties of borehole water in Abraka, Nigeria. African Journal of Pure and Applied Chemistry, 3(6), 116-118.
- [3] Ahoussi, K. E. et Soro N. G., 2008: "Ground water pollution in Biggest towns of Côte d'Ivoire." Environmental Journal Scientific Research Vol N° 2 : 302-316 p.
- [4] Alassane A., 2004 : Etude hydrogéologique du Continental terminal et des formations de la plaine littorale dans la région de Porto-Novo (Sud du Bénin) : Identification des aquifères et vulnérabilité de la nappe

- superficielle. Thèse de Doctorat du 3^{ème} cycle. Université Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal, 145 p. + annexes.
- [5] Azontondé A., 1991 : Propriétés Physiques et Hydrauliques des Sols au Bénin, CENAP, Abomey-calavi, 50 p.
- [6] Boko M., 1988 : Climat et communautés rurales au Bénin : rythmes climatiques et rythmes de développement. Thèse de Doctorat d'Etat. Dijon, université de Bourgogne, 605 p.
- [7] Daouda M., 2012 : Conception et expérimentation d'un réacteur d'électrocoagulation pour le traitement des lixiviats. Mémoire d'ingénieur de conception, EPAC/UAC, 126 p.
- [8] Dansou B.S. et Odoulami L., 2013 : Impacts socio-économiques des inondations dans la dépression d'Issaba (Commune de Pobè au Bénin, in RGO n°02-2013, pp. 157-171.
- [9] Mondjannagni C.A., 1977 : Campagnes et villes au Sud de la République Populaire du Bénin. Thèse d'état, éditions Mouton, Paris, 615 p.
- [10] Odoulami L., Adoko I. et Boko M., 2013 : Gestion des déchets de la ville de Ouidah au Sud-Bénin ; Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin (BRAB), Numéro spécial Productions Animales & Végétales et Economie & Sociologie Rurales – Décembre 2013 ; BRAB en ligne sur les sites web <http://www.slire.net> & <http://www.inrab.org>
- [11] Piedrafita C., et Mariav R., 2007 : La pollution ponctuelle des sols : Le cas des stations-service dans la Région de Bruxelles-Capitale, 154 p.
- [12] Prudent P., Domeizel M. et Massiani C., 1996 : Chemical sequential Extraction as a decision making tool : application to municipal solid waste and its individual constituents, Sci. 178 p.
- [13] Tchakpa C., 2015 : Valorisation des déchets solides ménagers comme alternative à l'utilisation des engrais chimiques de synthèse dans le maraichage à Cotonou, Thèse de Doctorat unique. Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, EDP / FLASH / UAC 166 p.
- [14] Vigninou T., 2010 : La périurbanisation de Porto-Novo : Dynamiques et impacts environnementaux. Thèse de Doctorat unique. Université d'Abomey-Calavi, Cotonou, Bénin, 370 p.
- [15] Vissin E., Houndénou C. et Houssou C., 2012 : Problèmes environnementaux et affections hydrofécals dans l'arrondissement de Calavi-centre au Bénin (Afrique de l'Ouest), In Mélange en l'honneur du professeur Alfred Comlan Mondjannagni, DGAT/FLASH/UAC, version revue et améliorée, mars. 2012, pp. 527-547.
- [16] WASTESUM, 2010: Development of Domestic Solid Waste Management Schemes for Small Urban Communities in Morocco. 85 p
- [17] Yémadjè A. A., 2015 : Décharges incontrôlées dans les arrondissements d'Abomey-Calavi et de Godomey : Impacts sur les sols, les eaux et la santé humaine. Thèse de doctorat unique, EDP/FLASH/UAC, 357 p.
- [18] Zahrani F., 2006 : Contribution à l'élaboration et validation d'un protocole d'audit destiné à comprendre les dysfonctionnements des centres de stockage des déchets (CSD) dans les pays en développement. Application à deux CSD : Nkolfoulou (Cameroun) et Essaouira (Maroc). Mémoire de thèse, Ecole Doctorale de Chimie de Lyon, 269 p.