

Impacts socio-sanitaires et environnementaux de la gestion des eaux pluviales en milieu urbain sahélien : cas de Maroua, Cameroun

Barthélémy NDONGO^{1*}, Stéphane LAKO MBOUENDEU² et Jean Paul HIREGUED¹

¹Département du Génie Rural, FASA, Université de Dschang, BP 222, Dschang, Cameroun

²Filière Métiers du Bois, de l'Eau et de l'Environnement, Antenne d'Ebolowa, FASA, Université de Dschang, BP 2201, Yaoundé, Cameroun

* Correspondance, courriel : bandongo@yahoo.fr

Résumé

Le drainage urbain est un problème courant des villes sahéliennes ; la lourdeur des investissements à consentir pour y remédier conduit au développement de mauvaises pratiques dont les impacts sont souvent mal maîtrisés. Le présent article pose un diagnostic des pratiques et mesures de gestion des eaux pluviales dans un contexte sahélien avec pour étude de cas le système d'assainissement de la ville de Maroua. L'étude relève les particularités hydrométéorologiques de la ville, analyse le système de gestion des eaux pluviales, et les pratiques de gestion des déchets, pour enfin, identifier les impacts sanitaires et environnementaux de ces pratiques. Ces impacts, prolifération d'agents pathogènes, résurgence du choléra, pollution des eaux, érosion des berges des mayo et alluvionnement des drains, amènent à suggérer des axes de remédiation ; dont, l'intégration des solutions impliquant toutes les parties concernées, le contrôle à la source des eaux usées et des déchets, et, la prise en compte de la variabilité des conditions hydrométéorologiques.

Mots-clés : *inondations, drainage, déchets, impacts environnementaux, impacts sanitaires, urbanisme, hydrologie.*

Abstract

Sanitary and environmental impacts of urban drainage management in sahelian cities : case study of maroua (Cameroon)

The urban drainage is a current problem of sahelian cities; the heaviness of the investments needed to remedy to it leads to the development of bad practices whose impacts are often insufficiently mastered. The present article diagnoses the practices and measures of management of the pluvial waters in a sahelian context with the case study of the drainage system of the city of Maroua. The survey raises the hydro meteorological particularities of the city, analyze the management system of the pluvial waters, and the practices of management of garbage, for finally, to identify the sanitary and environmental impacts of these practices.

These impacts, pathogenic agent proliferation, resurgence of the cholera, pollution of waters, erosion of the banks of the mayo and silting up of drains, bring to suggest axes of remediation; of which, the integration of the solutions implying all concerned parts, the control to the source of the worn-out waters and garbage and the hold in account of the variability of the hydro meteorological conditions.

Keywords : *floods, drainage, wastes, environmental impacts, sanitary impacts, urbanism, hydrology.*

1. Introduction

Les agglomérations urbaines en Afrique subsaharienne et dans le sahel en particulier sont en proie au problème de l'assainissement pluvial du fait des limitations topographiques et des effets induits d'une urbanisation galopante. Dans ces villes, la gestion durable des eaux pluviales reste un enjeu important pour les élus locaux ; responsables de l'aménagement urbain et soucieux d'assurer la sécurité et le confort aux habitants de la cité. En effet, mieux gérer le ruissellement, c'est non seulement lutter contre le risque d'inondation, mais aussi contribuer à limiter la pollution et partant, améliorer le cadre de vie des populations. D'après TUCCI [1], les principaux défis de la gestion des inondations sont liés à l'occupation des zones à risques et aux défaillances du drainage urbain. Dans les pays en développement, les problèmes de drainage connaissent généralement un déplacement spatial, en raison de la conception selon laquelle il faut évacuer le trop plein d'eau du milieu urbain pour sa périphérie ou de l'habitat à la parcelle voisine le plus rapidement possible. Il s'en suit une augmentation de la vitesse de ruissellement donnant lieu à des débordements dont les impacts négatifs sur les populations riveraines sont souvent significatifs. La gestion de l'assainissement pluvial constitue un problème crucial pour les villes d'Afrique subsaharienne.

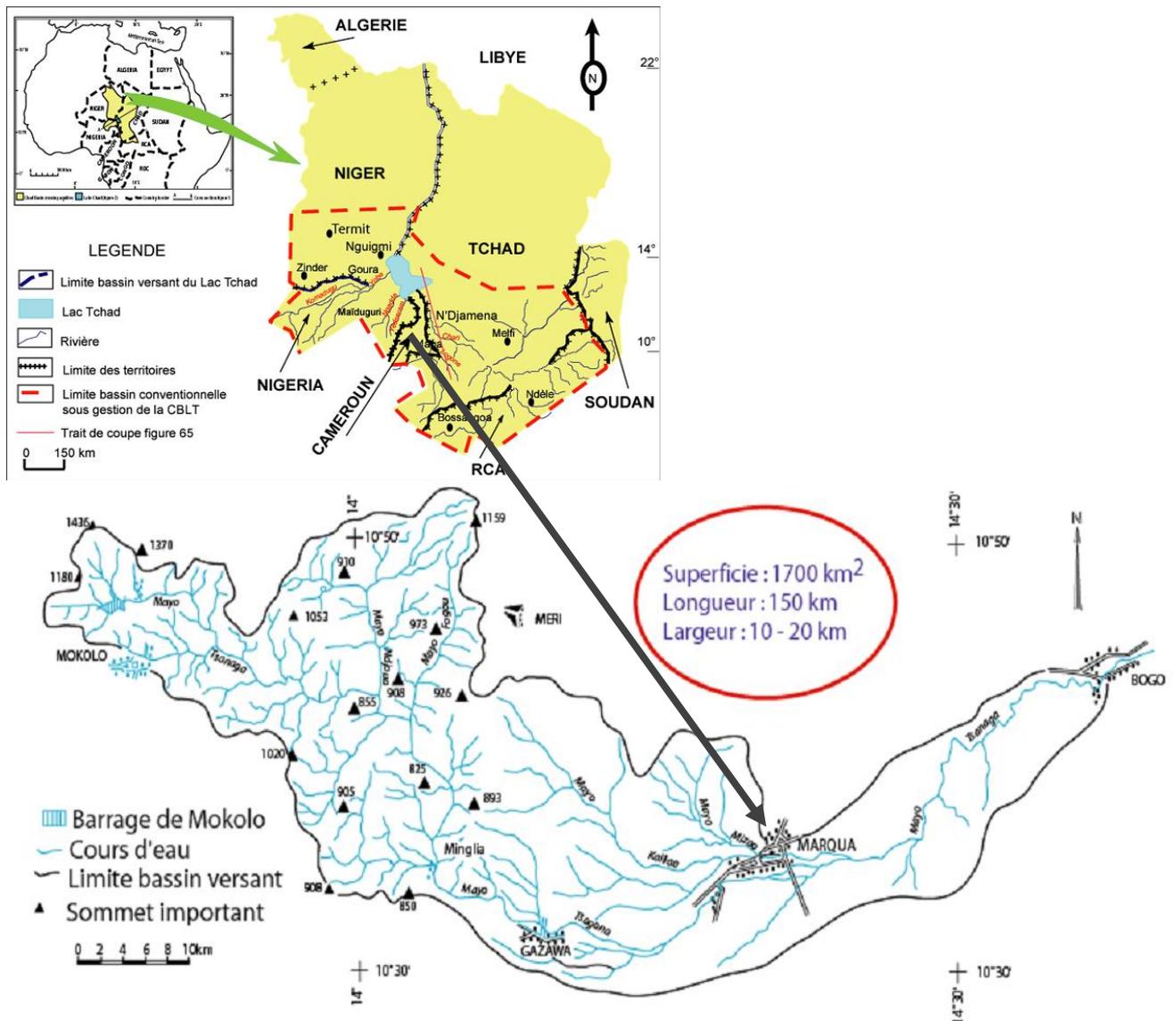
Même si, les précipitations constituent un élément vital pour l'homme et son environnement, les épisodes pluvieux génèrent des volumes et des flux d'eau parfois difficilement maîtrisables, s'accumulant dans les points bas en inondant des zones habitables [2], ou encore des zones habitées par des populations généralement vulnérables. En effet, dans les zones encaissées (vallée, vallon et plaine), la vulnérabilité des populations aux impacts des inondations de plaine est due, d'après TUCCI [1], au manque de connaissance concernant les variations des niveaux d'eau, la planification de l'occupation de l'espace et les risques d'inondations qui y sont liés. La ville de Maroua, sujette à un fort contraste météorologique entre sécheresse prolongée et pluies intenses, connaît une urbanisation croissante, qui crée sans cesse de nouveaux défis aux gestionnaires de l'espace urbain. La gestion du risque d'inondation parmi ces défis occupe une place de choix. La récurrence des inondations et des situations qui en découlent suggèrent une analyse du risque d'inondation lié aux précipitations extrêmes dans la ville en tenant compte des facteurs sociaux et environnementaux. Cette analyse est centrée sur l'examen des mesures structurelles et s'appuie sur un diagnostic du dispositif de drainage et des impacts sanitaires et environnementaux du système d'assainissement pluvial actuel.

2. Zone d'étude

La ville de Maroua, (*Figure 1*), se situe entre 10°29' à 10°41' de latitude Nord et 14°15' à 14°27' de longitude Est. C'est une ville linéaire s'étendant sur 15 km dans le sens de la pente de direction Ouest-Est, et couvrant 56 km² [3].

2-1. Milieu physique

Maroua est situé dans la plaine de Diamaré, qui prend appui à l'Ouest sur les monts Mandara (1 700 m) et descend en pente douce (3 ‰) à l'Est vers la cuvette du Tchad. Le relief de la ville est très peu variable avec moins de 20 m de différence d'altitude entre les points les plus extrêmes de la zone urbanisée [4] soit une pente de 1,5‰. La géologie locale est un socle cristallin Précambrien, recouvert par des sédiments récents, surtout d'origine alluviale. Les alluvions d'une épaisseur de 20 à 25 m sont principalement constituées de sable [5]; conférant ainsi une grande perméabilité aux sols, avec une transmissivité de $22 \text{ cm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. La végétation xérophile à épineux caractéristique des savanes soudano-sahéliennes sèches est très dégradée. Les principales cultures sont des plantations de mil ou de coton débutant dès la périphérie de la ville et des cultures vivrières d'irrigation le long des cours d'eau (cultures maraichères et vergers). La végétation urbaine est essentiellement anthropique, constituée de Neems, Caïllédrats, quelques acacias et des euphorbiacées.



Source: Adapté de NGOUNOU [6]

Figure 1 : Localisation de la ville de Maroua

2-2. Climat et hydrographie

La ville de Maroua a un climat soudano-sahélien de plaine caractérisé par une longue saison sèche (Octobre à Mai) et de faibles précipitations annuelles ; en moyenne, 811,6 mm/an précipités entre Juin et Septembre avec des pics (entre 200 et 260 mm/mois) en Juillet et Août, pour 28,3 °C de température moyenne. La période la plus chaude étant celle de Mars à Juin, avec des températures supérieures à 30 °C. Le diagramme ombrothermique de la ville de Maroua (**Figure 2**) représentant les moyennes mensuelles pour la période 1960-2004, montre une nette démarcation des saisons sèches et des saisons pluvieuses. En effet, la saison des pluies concentre 56% des précipitations sur deux (02) mois : Juillet et Août, représentant la période critique de gestion des eaux pluviales s'étalant sur un intervalle de 42 à 78 jours de pluies.

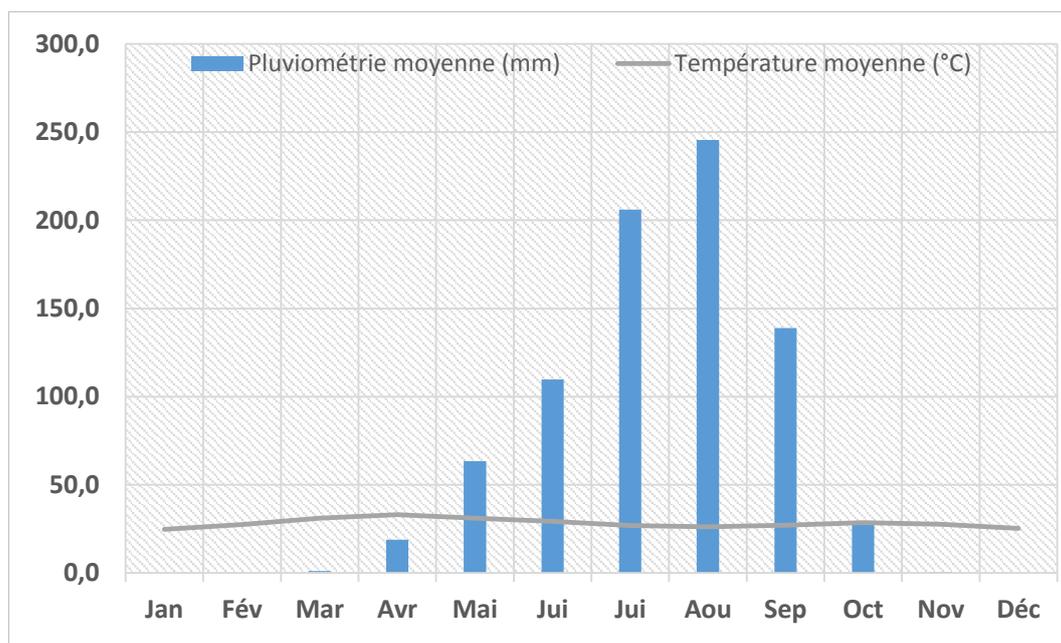


Figure 2 : Diagramme ombrothermique de la ville de Maroua

L'hydrographie de la ville est constituée de deux sous-bassins: le Kaliao (355 km²) et le Tsanaga (845 km²) tributaire du grand bassin du lac Tchad. L'ensemble des cours d'eau de la ville présentent des écoulements non permanents, qui d'après MIDIMA [7] sont davantage liés à la durée de la saison sèche qu'à la modeste des précipitations annuelles généralement comprises entre 600 et 1000 mm. Le coefficient d'écoulement varie de 20 à 29 % sur la Tsanaga à Maroua, et de 14 à 28 % sur le Kaliao. Les débits spécifiques des maxima annuels de crue varient de 234 à 4021 s⁻¹km⁻², et de 513 à 1096 ls⁻¹km⁻² respectivement pour la Tsanaga et le Kaliao [8].

2-3. Milieu humain

La ville de Maroua présente un habitat planifié, héritage colonial abritant une population de 265 470 habitants (DRMINSANTE-EN, 2010) soit une densité moyenne de 47,3 ha b/ha, pour un taux d'accroissement de 5,5 %. D'après Baldet [4], avant 1918, il existait déjà des affectations des terrains à l'administration (Zokok), au commerce (Kakatare) et aux résidences (Domayo). Le centre résidentiel actuel de Domayo dispose d'un Camp SIC qui faisait partie du programme gouvernemental visant à réduire les coûts d'accès à l'habitat pour les couches démunies.

La ville est caractérisée par une explosion démographique soutenue par le développement des activités académiques et commerciales transfrontalières. Elle a vu quadrupler sa superficie en 30 ans avec un accroissement de la densité d'habitants de 26,5 %.

3. Méthodologie

3-1. Diagnostic du système d'assainissement et de gestion des eaux pluviales

Le diagnostic du système d'assainissement a porté sur l'état, la fonctionnalité et la gestion du réseau de drainage. Ces éléments ont été appréhendés à l'aide d'enquêtes et d'observations sur le terrain. Les données consignées au moyen de questionnaires et de fiches techniques portaient sur le diagnostic des ouvrages de drainage et les problèmes d'érosion des cours d'eau semi-permanents appelés « mayos ». Les cours d'eau étudiés furent sélectionnés à partir de la base de données des voiries de la Mission de Développement Intégré des Monts Mandara (MIDIMA). L'état des avaloirs a permis d'évaluer les causes et les impacts de leur dégradation sur 214 ouvrages. L'identification des causes des érosions et des dysfonctionnements ont conduit à l'analyse fréquentielle des précipitations de la zone, après vérification de la normalité de la distribution des précipitations annuelles. Les données de pluviométrie ont été obtenues à la station de l'IRAD-Djarengol sur la période 1976 à 2011.

3-2. Enquêtes socio-économiques et sanitaires

Les données sur les impacts socio-économiques ont été collectées à partir des enquêtes ménages réalisées en saison pluvieuse auprès de 10 ménages, afin de recueillir des informations récentes sur les ruissellements vécus durant l'année 2011. Le choix des ménages répartis dans 10 quartiers, s'est fait suivant un échantillonnage aléatoire (Méthode d'échantillonnage probabiliste assurant l'équiprobabilité de la sélection des ménages dans une population donnée), le critère de choix étant la vulnérabilité aux inondations établie par Bouba [3]. Pour ce qui est des impacts sanitaires, l'évolution des maladies d'origine hydrique (choléra et paludisme) a été appréhendée en scrutant les statistiques médicales de la ville. Leur corrélation à l'état du système d'assainissement a été établie en exploitant les fiches de déclaration hebdomadaires des maladies à caractère épidémiologique des centres de santé intégrée de la ville de Maroua. Le logiciel SPSS 10.0 (Logiciel d'analyse statistique vendu par IBM) a servi à la saisie, la codification et l'analyse des données d'enquête.

4. Résultats

4-1. Caractéristiques hydrologiques de la ville de Maroua

4-1-1. Intensités des pluies

Les valeurs moyennes semblent stables; les valeurs estimées par Hiregued [9] restent cohérentes avec celles de Nouvelot [8] pour la station de Maroua-poste. Cependant, les précipitations annuelles à Maroua connaissent une variabilité significative ($cv = 20\%$). La pluviométrie interannuelle est très variable d'une année à une autre et d'une période à une autre, avec un coefficient d'irrégularité égale à 2,4. En effet, les années les plus sèches sont 1986 et 1983 (moins de 550 mm/an), à l'opposé des années les plus humides de 1960, 1976 et 1989 (plus de 1075 mm/an).

L'analyse fréquentielle révèle toutefois un comportement gaussien des précipitations annuelles de Maroua ; la droite de Henry présente en effet coefficient de corrélation de Pearson de 0,97. Ainsi, nous pouvons suggérer l'ajustement des fréquences de non dépassement suivant le modèle de Hazen qui permet d'écrire par l'équation 1.

$$F = 0,022 P - 0,011 \quad (1)$$

Où F représente la fréquence au non dépassement et P la pluviométrie annuelle (mm/an).

A l'échelle journalière, les précipitations dans la ville se caractérisent dans l'ensemble, par des pluies de courtes durées (moins d'une heure) et de fortes intensités (au moins 42 mm/h), avec une fréquence moyenne d'une pluie tous les trois jours ; ce qui laisse peu de temps au sol pour drainer l'eau. On a en effet sur la ville de Maroua des pluies orageuses comme le montre la figure 3 ; les précipitations courtes (inférieures à 10 min) sont très fréquentes avec des intensités très élevées (plus de 90 mm/h). Hiregued [9] montre que des 58 pluies recensées en 2011, seules 46% ont présentées de faibles pluviosités (moins de 10 mm/j). Les précipitations de fortes pluviosité ($> 95,6$ mm/j), apparaissant majoritairement dans les mois de Juillet et Août, produisent un débit spécifique pour les I_{30} calculés (Intensité maximale précipitée pendant une séquence pluvieuse de 30 minutes) qui varie entre 22 et 37 l.ha⁻¹s⁻¹ avec une période de retour de 05 à 10 ans. Un débit suffisant pour créer, en dépit de la forte infiltration liée à la grande perméabilité des sols, l'engorgement et la saturation de ceux-ci. En effet, au vu de la transmissivité des sols de Maroua (22 cm²s⁻¹) et de leur texture, il faudrait une épaisseur de 30 m pour contenir l'eau précipité [5]. Or, l'épaisseur des alluvions n'excède pas 25 m sur toute la ville, d'où les débordements donnant lieu aux inondations spectaculaires comme celles enregistrées en 2006 (02 morts) et en 2010 (3000 personnes sans-abris) ; les quartiers sont transformés en de véritables piscines, des maisons sont submergées, des routes principales et secondaires coupées. Les quartiers fréquemment touchés étant : Louguevo, Domayo, Djarengol, Kodek, Pitouré Dougoï, Dourssoungo, Sararé.

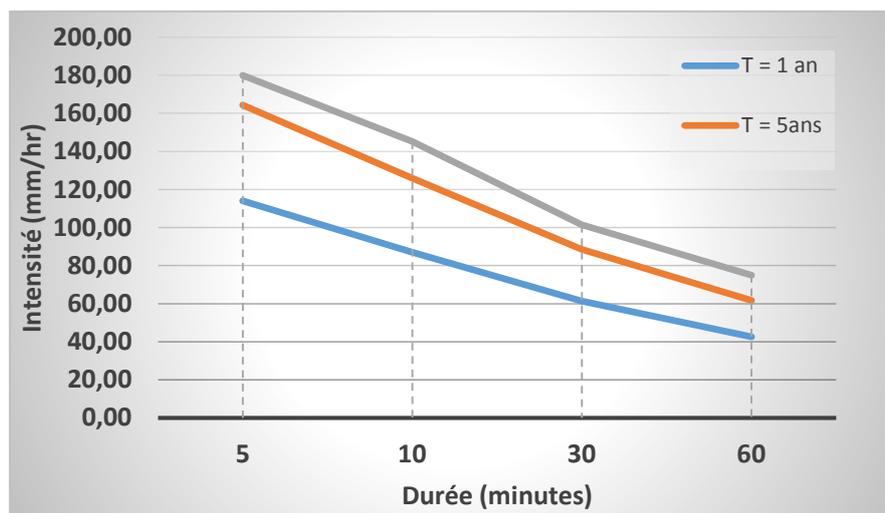


Figure 3 : Courbes Intensité Durée et Fréquence des précipitations dans la ville de Maroua

4-1-2. Caractéristiques du système de drainage de la ville

Le drainage des eaux pluviales dans la ville se fait par les cours d'eau naturels et les différents réseaux de collecteurs construits. Le réseau de drainage dispose d'une structuration à trois (03) niveaux dont le primaire est naturel et les deux autres artificiels. Le réseau primaire est constitué principalement du réseau hydrographique naturel des sous-bassins du Kaliao et du Tsanaga. Ceux-ci drainent sur 55 km, un bassin d'ordre 4 (d'après la classification de Strähler) constitué des Mayos Kaliao, Tsanaga, Ziling, Mizao et Ibbe. La ville de Maroua se présente alors comme l'exutoire d'un grand bassin arrosé par des mayo. Ces mayo sont alimentés par les eaux de ruissellement collectées à travers un réseau de canalisations adjacentes aux routes ou des rigoles et ravins creusés par les torrents. Le réseau de drainage naturel de la ville, caractérisé par de faibles pentes et une faible densité de drainage (Dd) de 0,98 km⁻¹, est caractéristique; d'après Laborde [10], des régions à substratum très perméable, à couvert végétal important et à relief peu accentué. Cela confère au réseau des lits de grande largeur (300 m), un tracé sinueux et le prédispose à la formation des dépôts alluvionnaires importants [11]. Cette situation justifierait les problèmes de drainage des précipitations orageuses en dépit de l'atout que représentent l'épaisseur et la perméabilité des sols pour la recharge de la nappe phréatique. En outre, les tronçons de cours d'eau traversant Maroua sont caractérisés par des pentes abruptes et des décrochements liés à la faible cohésion des particules de sol constitués essentiellement de sables et de limons ; d'où la forte érodibilité des berges. Pour ce qui est du réseau artificiel, sur 20 quartiers recensés dans le périmètre urbain, seuls 30 % disposent de réseau mineur constitué de la voirie et de caniveaux. L'essentiel de ces infrastructures étant concentré dans le centre administratif.

Tableau 1 : Taux d'équipement d'assainissement pluvial selon la hiérarchie de la voirie

Voie	Sans drains (%)	Avec drains (%)	Drains à ciel ouvert en terre (%)	Drain à ciel ouvert en béton (%)	Dalot en béton couvert (%)
Primaire	58	42	10	32	0
Secondaire	50	50	0	44	6
Tertiaire	58	42	0	42	0
Piste/artère	100	0	0	0	0

De l'examen du **Tableau 1**, il ressort que moins du tiers des principaux axes de la ville est dotée de caniveaux en matériau durable, tandis que les axes desservant les ménages, principalement dans les quartiers périphériques, ne disposent d'aucune infrastructure. Il en résulte une stagnation des eaux pluviales et résiduelles des ménages causant des nuisances visuelles et olfactives, et générant la formation d'un biotope favorable au développement du stade larvaire des moustiques.

4-2. Gestion de l'assainissement pluvial

La gestion de l'ensemble du réseau de drainage dans la ville de Maroua est à la charge de la Communauté Urbaine de Maroua (CUM) et aux Communes d'Arrondissement, respectivement pour les axes primaires et secondaires et/ou tertiaires. Au niveau de la CUM deux services s'occupent de la gestion des drains: le service d'hygiène et le service de la topographie, de l'urbanisme et de l'habitat. Mais il existe un manque de clarté dans la définition des missions des deux organismes, et des frontières de leurs interventions.



Photo 1 : *Etat des drains dans la ville de Maroua en saison pluvieuse*

Les actions entreprises pour résoudre les problèmes inhérents au drainage urbain des eaux pluviales se limitent au curage des drains, et restent l'entreprise des services de la CUM. La fréquence des curages va d'une (01) fois par semaine à trois (03) fois/an. Des interventions d'urgence sont souvent conduites pour le curage des drains les plus critiques lors des inondations. Ceci engendre le dysfonctionnement des ouvrages d'assainissement pluvial, conduisant à la stagnation des eaux, au débordement des réseaux et l'alluvionnement des exutoires. La mise en place des drains dans les secteurs à fort risque de concentration des eaux et le remblayage des dépressions sur les routes en terre est essentiellement assurée par le service de l'urbanisme et de la topographie de la CUM. L'appropriation collective exprimée d'après les enquêtes est de 7 %, somme toute faible dans un environnement où les drains sont encombrés par les ordures ménagères et font office de lieu de déversement des boues de vidange. Par ailleurs, le lit majeur des Mayos et certains drains naturels sont investis illégalement par les riverains dont la situation est essentiellement précaire. En plus, bien que l'occurrence des inondations suscite un intérêt des ménages pour la rénovation des ouvrages de drainage, la participation potentielle exprimée par les ménages est faible (32%) d'après la **Figure 4**; la principale limite pouvant être financière. En effet, la participation moyenne sollicitée est estimée à 39 315 FCFA/habitants (environ 314 490 FCFA par famille).

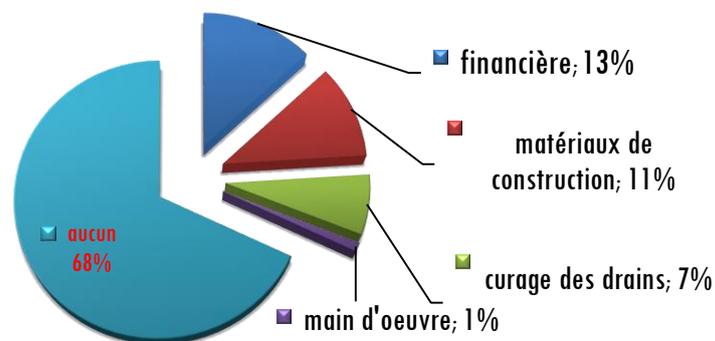


Figure 4 : *Prédisposition des ménages à une contribution à la réalisation des infrastructures de drainage*

La non-appropriation des infrastructures par les ménages se confirme par les pratiques usuelles de gestion des eaux usées. Selon la **Figure 5**, les ménages déversent principalement leurs eaux usées dans la cour ou sur la voirie ; la même situation fut relevée par Ngwe et Banza-Nsungu [12]. Celle-ci est d'autant plus préoccupante que 90,6 % des eaux usées sont déversées sur la chaussée d'après les déclarations des ménages.

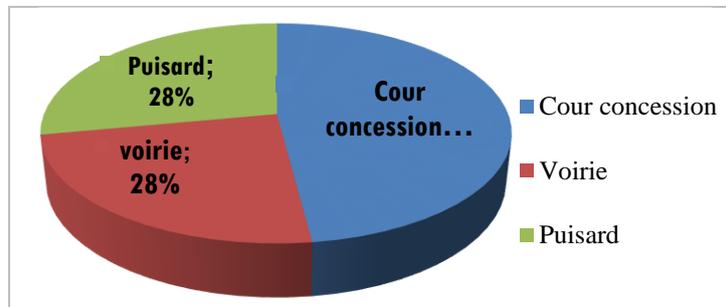


Figure 5 : Lieux d'évacuation des eaux usées par les ménages

Cette pratique semble encouragée par la nature sablo-limoneuse du sol qui favorise une infiltration rapide des eaux déversées. Certains ménages développent la pratique de défécation à l'air libre qui a toutefois diminuée de 21 % entre 2007 et 2012. En outre, les boues extraites des latrines des ménages (à 76 % traditionnelles) se retrouvent pour près de la moitié dans les Mayos traversant la ville, de même que 16 % des ordures ménagères. Il s'en suit un développement des maladies oraux-fécales dans les ménages (06 %) qui utilisent les eaux de mayo comme eaux domestiques et comme lieux par excellence de baignade.

4-3. Impacts sanitaires

Une analyse des données des fiches de déclarations des maladies à caractère épidémiologique dans 07 centres de santé intégrés identifiés dans la ville de Maroua a permis d'obtenir les profils des cas de paludisme et de choléra (**Figure 6**).

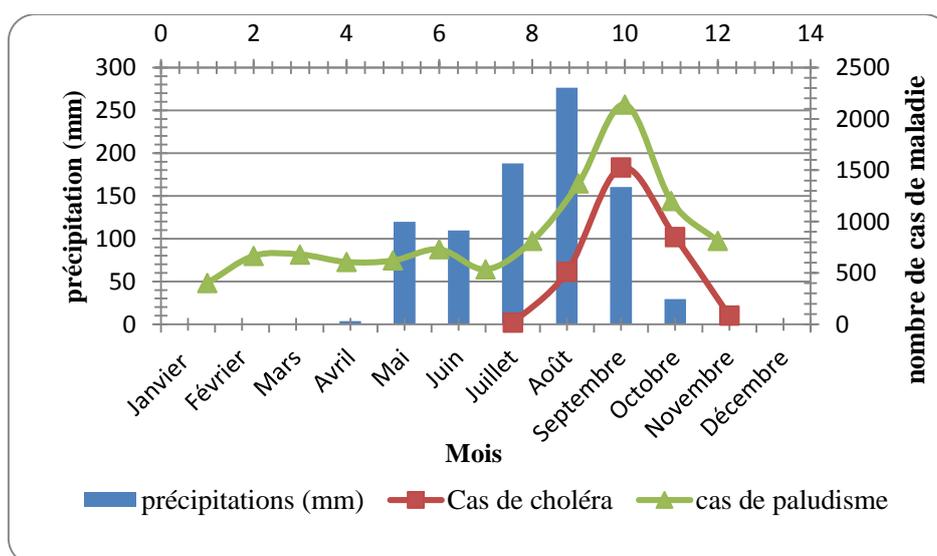


Figure 6 : Evolution mensuelle des cas de paludisme et de choléra dans la ville de Maroua en 2011

4-4. Prolifération des anophèles femelles

D'après la **Figure 6**, 52 % des cas de paludisme sont enregistrés dans la période d'Août à Novembre, avec une moyenne de 892 cas/mois et un pic au mois de Septembre avec 2 139 cas ; peu avant le début de saison sèche. Selon Baldet [4], le décalage d'environ deux mois observé entre le début des précipitations et la recrudescence du paludisme se justifie par les conditions de développement des anophèles qui nécessite des eaux peu polluées. Cette situation est observable dans la période de Juillet à Octobre, où la pluie est suffisante pour générer la stagnation des eaux après saturation de la couche de sous-sol. Baldet [4] affirme d'ailleurs que cette période représente plus de 87 % des captures annuelles d'anophèles femelles. Ce constat semble se généraliser aux villes de la zone sahélienne. En effet, Thuy [13] montre qu'à Nyamé dont le contexte d'assainissement pluvial semble similaire à Maroua, la moitié des cas de paludisme apparaissent en saison pluvieuse, pour des pluies générant parfois des inondations, et que le nombre de cas annuel chuterait de 23 % juste du fait d'un curage systématique du réseau de drainage de la ville.



Photo 2 : Stagnation des eaux 48 heures après un événement pluvieux dans la ville de Maroua

4-5. Epidémies de choléra

Dans la ville de Maroua, les épidémies de choléra sont fréquentes, avec en moyenne 358 cas, recensés entre les mois de Juillet et Novembre, avec un pic en Septembre. L'apparition saisonnière du choléra se justifie par la consommation ou la manipulation, par les ménages, des eaux de surfaces contaminées par les eaux polluées pendant les épisodes d'inondation. Par ailleurs la porosité des sols en majeure partie sablonneux favorise la communication entre les eaux polluées de surface et les eaux souterraines prélevées à travers les puits, les mares et les pseudo-forages (**Photo 3**). Cette pollution des eaux est accentuée par le déversement, sans traitement, des déchets et eaux industrielles dans le milieu naturel.



Photo 3 : *Stagnation d'eau polluée autour des Puits et forage dans la ville de Maroua*

4-6. Impacts environnementaux

4-6-1. Dégradation de la voirie

Le parcours en long de la voirie urbaine conduit au constat selon lequel 63 % des axes routiers non revêtus sont parsemés de dépressions pouvant faire plus d'un mètre de large, et dans lesquels stagnent les eaux de pluies et autres eaux usées. Ces formes de dépressions contribuent à accélérer la dégradation de la chaussée, perturbant ainsi la circulation. Cette situation rend inaccessible certains quartiers et les exclue du circuit de collecte des ordures ménagères de la société en charge de la gestion des déchets ménagers ; HYSACAM.

4-6-2. Nuisances

Les problèmes de drainage des eaux pluviales dans la ville de Maroua contribuent à la dégradation du milieu de vie et de l'état sanitaire des populations. Les nuisances identifiées (*Tableau 2*), vont de la pollution olfactive à la prolifération des moustiques qui touchent systématiquement tous les ménages. La pollution visuelle n'en est pas de reste. Celle-ci se manifeste par endroit par le débordement des fosses d'aisance, donnant lieu à l'exposition des excréta. Bien que les pluies les plus orageuses donnent lieu à des lames d'eau ruisselantes n'excédant pas 20 cm au-dessus du sol, le temps de ressuyage est court ; 90 % des accumulations, s'effacent en moins d'une heure dans les rues et environ deux, dans les zones de forte concentration (ponceaux et intercepteurs). Il persiste cependant quelques mares temporaires dans lesquels baignent les déchets charriés.

4-6-3. Erosion des berges des exutoires naturels



a. Sapement de berge



b. Ravinement au niveau d'un exutoire

Photo 4 : Impact du ruissellement sur les berges et les lits de cours d'eau

Le diagnostic de l'état des berges des mayo établit des signes d'érosion sur la longueur des cours d'eau surtout au niveau de leur confluence. L'érosion se manifeste à travers des glissements de terrain ou le décrochement de talus sur les berges dans le cas où le sol est plus ou moins cohésif, ainsi que des ravinements ou des rigoles dans les lits des cours d'eau. Ainsi, sur un linéaire d'un kilomètre le long du Mayo Kaliao sur sa rive gauche, 14 ravins ont été recensés avec une vitesse de recul des berges de 0,54 à 2,02 m/an., selon Abanda *et al.* [14].

4-6-4. Alluvionnement des drains

L'érosion pluviale des sols favorise le détachement des particules sableuses qui sont ensuite transportés par les eaux de ruissellement jusqu'aux drains qu'elles engorgent. Fita [15] a obtenu sur le Mayo Tsanaga à Bogo, à l'aval du bassin versant, un flux annuel de matière en suspension de $318,6 \cdot 10^6$ t pour une dégradation d'une lame de 0,14mm, conduisant à un apport moyen en sédiments de 400 000 t en aval.

5. Discussion

L'analyse des résultats obtenus dans cette étude révèle la nécessité de prendre des mesures correctives aussi bien à l'échelle des ménages, du réseau de drainage de la ville, qu'en fin de réseau. On arriverait ainsi à une combinaison de dispositifs de contrôle devant favoriser la limitation de l'érosion et de la résurgence des inondations, autant que la prolifération des maladies hydriques.

5-1. Intégration participative des solutions structurelles et non structurelles

Dans l'optique de l'intégration participative des solutions structurelles et non structurelles, il serait indiqué avec TUCCI [1] de préconiser, sous réserve de l'état de développement de la ville, la correction des impacts existants par une intervention au niveau du drainage mineur et majeur. Dans cette optique, on pourrait envisager le contrôle à la source, le drainage (mineur ou majeur), l'infiltration et la percolation dans des bassins d'épandage. Dans le même sens, nous pensons avec Berson [16] qu'il faille gérer l'eau au plus près de l'endroit où elle tombe et la valoriser localement dans l'espace à aménager. Cette approche alternative nécessite une concertation plus importante entre les intervenants en amont de la définition du projet.

Aussi, l'implication des autorités locales et des ménages dans la commande publique de l'aménagement est essentielle pour transformer les contraintes en opportunité d'aménagement et en solutions s'inscrivant dans une démarche de développement durable. Ainsi les épisodes d'inondations après les pluies, seraient des instants pertinents pour mobiliser les ménages et les impliquer dans un processus de gestion durable des systèmes d'assainissement [17].

5-2. Contrôle de l'eau et des déchets à la source

Elle participe de la maîtrise des ruissellements et contribue à la lutte contre les inondations, en limitant les débordements des réseaux et cours d'eau dans les zones urbaines par temps de pluie. Il serait alors utile de procéder à un contrôle à la source des matériaux abrasifs, notamment les ordures ménagères et les sédiments charriés, afin de limiter l'érosion des drains naturels et des berges des cours d'eau. Des systèmes de chicanes construits dans des bacs de sédimentation ou des pièges à sable sont des solutions envisageables. Cependant, ils présentent la contrainte d'un entretien permanent au même titre que le réseau de drainage de la ville. Cette solution nécessite par ailleurs, une réhabilitation du réseau de drainage, son extension et sa densification afin que les débits soient maîtrisés et canalisés. Cette démarche se trouve confortée par Dasyva *et al.*, [18] qui estime que l'utilisation de technologies alternatives aux réseaux d'assainissement pluvial n'augmente pas les coûts de viabilisation à l'échelle de la zone équipée, mais contribuent à diminuer sensiblement les coûts en équipements structurants d'assainissement.

5-3. Prise en compte de la variabilité des phénomènes hydrométéorologiques

Dans un contexte où les inondations sont courantes avec six (06) épisodes d'inondation enregistrées entre 1994 et 2006 le problème fondamental est de trouver comment tenir compte des tendances à long terme et des scénarii les plus pessimistes dans les investissements et les décisions à court terme. Dans cette perspective, AMCOW [19] propose de s'orienter vers une vision de sécurité de l'eau, qui permet, à travers une meilleure gestion, d'assurer l'atteinte des objectifs de développement, l'adaptation au changement climatique et la réduction des risques de catastrophes, aussi bien actuels que futurs. Le contexte sahélien de la ville de Maroua est caractérisé par une courte saison pluvieuse pendant laquelle on enregistre des pluies orageuses de période de retour de 05 ou 10 ans[9], qui font des dégâts importants (plus d'01 milliard/épisode) en dépit de la faible durée de submersion (moins de 02 heures). Il serait indiqué de vérifier la capacité des ouvrages présents à écrêter les crues en cas de réhabilitation et de les redimensionner le cas échéant sur des périodes de 01 à 05 ans comme suggéré par OMS [20]. Par ailleurs des techniques de construction pour la protection personnalisée contre les crues à travers l'élévation de la parcelle par des remblais, déjà pratiquées par les populations de Maroua, devraient être encouragées en amont de la construction d'ouvrages d'assainissement plus performants.

5-4. La protection de l'environnement en fin de réseau

Le retrait des berges et l'érosion des lits de cours d'eau relevés au niveau des exutoires ou des drains naturels pourrait être réduit au travers de la stabilisation des berges par la végétalisation de celles-ci. Cette pratique a été expérimentée par la Délégation Régionale du Ministère de l'Environnement et de la Protection de la Nature (MINEP) en 2007 à l'aide d'*Hypomea aquatica*, et s'est avérée efficace dans les secteurs présentant une hauteur de talus inférieur à deux (02) mètres et se situant dans la section rectiligne ou au niveau de la concavité intérieure des méandres du lit des cours d'eau traité. Dans les secteurs à pente abrupte, présentant des hauteurs de talus supérieures, le recours à des actions mécaniques avec la mise en place de gabions ou des murs de soutènement semble être une solution adaptée.

6. Conclusion

La ville de Maroua est une ville au relief plat construit sur un socle cristallin avec un sol sablonneux et limoneux. Elle abrite des ménages ayant peu d'intérêt pour la gestion des eaux pluviales mais confrontées aux inondations dues aux pluies intenses enregistrées en saison pluvieuse avec des pics au mois de Septembre. L'intensité des pluies et les mauvaises pratiques de gestion des déchets et des eaux usées, couplées à la faible couverture en infrastructures de drainage génère des nuisances aussi bien au niveau de l'environnement direct des ménages, qu'en aval des réseaux de drainage naturel. Ces inconvénients pourraient être réduites par l'amélioration de la gestion des déchets urbains et des eaux pluviales et usées dans la ville. L'efficacité et la durabilité des mesures envisagées pourraient être assurées si l'on s'appuyait sur l'occurrence des inondations ou des épidémies pour élaborer un cadre de gestion participative du drainage urbain.

Références

- [1] - E. M. C. TUCCI, "Integrated urban flood management", CAP-NET/UNDP (2011) 91.
- [2] - G. BURKHARDT, D. DESILLE, et C. LE JALLE, "La gestion des eaux pluviales (GEP) en milieu urbain dans les pays en développement: Problématique, pratiques et pistes de réflexions note de cadrage pour le lancement d'un programme de recherche-action", pS-Eau-Novembre 2009, http://www.pseau.org/cms/sites/default/files/fichiers/r_d/pSEau_Note_cadrage_GEP.pdf (2009).
- [3] - L. BOUBA, "Risques géo — environnementaux dans la région de l'Extrême Nord Cameroun: Cas de l'inondation dans la ville de Maroua", Mémoire DEA, Faculté de Sciences, Département de Sciences de la Terre, Yaoundé : Université Yaoundé I (2009) 65.
- [4] - T. BALDET, "Etude comparative de deux stratégies de lutte contre *Culex quinquefasciatus* Say, 1823 par *Bacillus sphaericus* Neide, 1904 dans la ville de Maroua (Nord-Cameroun)", Thèse de doctorat de l'Université de Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier, France : Université de Montpellier http://www.horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers10-01/010004198.pdf (1995).
- [5] - TRACTEBEL, "Etablissement d'un schéma directeur pour l'eau et l'assainissement de la ville de Maroua", Ministère de la ville, Yaoundé, Cameroun (2004) 173.
- [6] - NGOUNOU, N. B. 2011. Projet FSP-RIPIECSA : Impact des fluctuations climatiques et de la pression anthropique sur le fonctionnement hydro-sédimentaire et hydrogéologique du bassin versant du Mayo Tsanaga (Nord-Cameroun, Bassin du Lac Tchad). Atelier RESSAC Ouagadougou : 30 mars au 02 avril 2011. 15 p.
- [7] - MIDIMA (Mission de Développement Intégré des Monts Mandara), "Bilan diagnostic 2008-2009 en vue de l'Actualisation du Schéma Directeur Régional d'Aménagement et du Développement Durable du Territoire de la Région de l'Extrême nord réalisé en 2001", Rapport final, Maroua, Cameroun (2009) 273.
- [8] - J. F. Nouvelot, "Hydrologie des Mayos du Nord Cameroun Monographie de la Tsanaga" Cahier O.R.S.T.O.M., série Hydrologique, volume X, n° 3 OSTROM (1973) 211-303.
- [9] - J. P. HIREGUED, "Gestion des eaux pluviales et risques urbains: cas de la ville de Maroua, Région de l'Extrême-Nord Cameroun", Mémoire d'Ingénieur Agronome, Université de Dschang, Cameroun (2011) 98.

- [10] - J. P. Laborde, "Eléments d'hydrologie de surface", Université de Nice-Sophia Antipolis, Centre National de la Recherche Scientifique U.M.R 5651 "espace" du C.N.R.S. Equipe "gestion et valorisation de l'Environnement" U.F.R. Espaces et Cultures, laborde@unice.fr (2000).
- [11] - MDDEP (Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs), MARMOT (Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire), "Guide de gestion des eaux pluviales Stratégies d'aménagement, principes de conception et pratiques de gestion optimales pour les réseaux de drainage en milieu urbain", Direction des politiques, <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/pluviales/partie1.pdf>.
- [12] - E. NGWE, et A. B. BANZA-NSUNGU, " Les déterminants socio-environnementaux de la morbidité diarrhéique des enfants de moins de 5 ans en milieu urbain au Cameroun: les villes d'Ebolowa et Maroua" http://www.pripode.cicred.org/IMG/pdf_CM1-FinalReport.pdf. (2007).
- [13] - T. T. THUY, "Stratégie Nationale de Gestion de l'Environnement Urbain du Niger", Rapport final, du Projet de réhabilitation des infrastructures urbaines (PRI-U), Cabinet du Premier Ministre, Niger (2001). http://www.case.ibimet.cnr.it/den/Documents/S_environnement_urbain.pdf.
- [14] - K. H. E. ABANDA, G. ADZOOM'YAH, E. KONAI, and Y. WILBA, "l'Ensablement du Mayo Kaliao et son impact environnemental dans la ville de Maroua (Cameroun)", Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme des professeurs de l'Enseignement Secondaire Deuxième grade (DIPES II), Maroua, Cameroun : Université de Maroua (2010).
- [15] - D. E. FITA., "Suivi et Evaluation du Flux Sédimentaire dans le Bassin Versant du Mayo Tsanaga (Extrême Nord Cameroun)", Mémoire de Master, Université de Ngaoundéré, Cameroun <http://www.hydrosciences.fr/ressac/Atelier032011%5cripiecsa%20Fita.pdf> (2010).
- [16] - M. BERSON, "Eaux pluviales urbaines : une gestion à la source contre les inondations et la pollution", Essonne, France : Direction de l'environnement, (2013) 24.
- [17] - D. CŒUR, "La maîtrise des inondations dans la plaine de Grenoble (XVIIe -XXe siècle) : enjeux technique, politique et urbain", Thèse de Doctorat, Institut d'Urbanisme de Grenoble, France : Université Pierre Mendès France (2003).
- [18] - S. DASYLVA, C. COSANDEY et D. ORANGE, "Proposition de gestion « intégrée » des eaux pluviales pour lutter contre les problèmes liés à l'eau dans la banlieue de Dakar", Ouagadougou, Actes Colloque Envirowater 2002 (2002) 207-218.
- [19] - AMCOW (African Ministers Council on Water), Water security and climate resilient development", Technical background document, Water-Climate and development Program, Abuja, Nigeria (2012) 149.
- [20] - OMS (Organisation Mondiale de la Santé), "Evacuation des eaux de surface dans les communautés à faibles revenus" <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/who/evac.pdf> (1992).