

**TITRE :**  
**HYDRODYNAMIQUE SOUTERRAINE ET VULNÉRABILITÉ A LA POLLUTION  
DES RESSOURCES EN EAU EN ZONE URBAINE TROPICALE : CAS DU BASSIN  
VERSANT DE MINGOA (YAOUNDÉ -CAMEROUN).**

KOUAM KENMOGNE Guy-Romain<sup>\*a</sup>, NTEP François\*, MPAKAM Hernanie Grelle\*,  
DJEUDA TCHAPNGA Henri Bosko\*, AYONGHE NDONWI Samuel\*\*, EKODECK  
Georges Emmanuel\*, DASSARGUES Alain\*\*\*.

\* Laboratoire de Géologie de l'Ingénieur et d'Altérologie ; Faculté de Sciences ; Université de Yaoundé I ;  
B.P. 812 Yaoundé – CAMEROUN ; E-mail : [grkouam@yahoo.fr](mailto:grkouam@yahoo.fr); [mhernaniegrelle@yahoo.fr](mailto:mhernaniegrelle@yahoo.fr);

\*\* Laboratoire de Sciences de l'Environnement ; Université de Buéa – CAMEROUN ; E-mail :  
[samayonghe@yahoo.com](mailto:samayonghe@yahoo.com).

\*\*\*\* Laboratoire d'Hydrogéologie et Géologie de l'Environnement, GEOMAC, Université de Liège –  
Belgique ; E-mail : [alain.dassargues@ulg.ac.be](mailto:alain.dassargues@ulg.ac.be).

<sup>a</sup> : Corresponding author. E-mail : [grkouam@yahoo.fr](mailto:grkouam@yahoo.fr). S/c Pr. SIMO David B.P. : 1923 Yaoundé-CAMEROUN

**RESUME**

Le bassin versant de Mingoa est l'un des 25 bassins que compte la ville de Yaoundé au Cameroun. Une étude conjointe visant la compréhension des phénomènes d'hydrodynamique souterraine et de vulnérabilité des eaux à la pollution dans la ville de Yaoundé a été menée dans ce bassin versant. Il ressort de cette étude que le comportement hydrodynamique dans ce bassin est étroitement lié aux fluctuations pluviométriques. La carte hydrodynamique de l'aquifère supérieur du bassin de la Mingoa révèle deux types d'écoulements convergents et divergents avec les grands axes de drainage d'orientation globale NE - SW ; SE - NW et N - S permettant de délimiter des sites favorables à l'implantation d'ouvrages de captage des eaux souterraines. Les sources potentielles de pollution répertoriées sont nombreuses et variées (latrines, station d'épuration défectueuse, manque d'ouvrages d'assainissement, tas d'ordures sauvages, etc.). Les résultats des analyses physico-chimiques ont permis de constater que hormis la température, le potentiel d'hydrogène (pH) et le CO<sub>2</sub> libre, les valeurs des autres paramètres sont bien centrées sur les normes de qualité des eaux destinées à la consommation humaine prescrite par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Cependant, les valeurs des teneurs en azote ammoniacal (de 0,67 à 4,65 mg/l), en Streptocoques Fécaux (de 48 à 5,80 x 10<sup>5</sup> UFC/100 ml) et en Coliformes Fécaux (de 300 à 1,07 x 10<sup>6</sup> UFC/100 ml) sont largement supérieures aux valeurs seuils requises par l'OMS et permettent de conclure que ces eaux sont polluées et vivement déconseillées à la consommation humaine.

Sur la base des données ponctuelles issues des simulations et des différentes analyses des eaux et des sols, la dynamique de contamination des nappes d'eau superficielles et souterraines dans les zones cristallines fracturées et densément peuplées a été posée. Deux zones de protection ayant respectivement des rayons de 10 mètres et de 20 mètres peuvent être envisagées afin de permettre au sol de jouer pleinement son rôle épurateur. Des mesures adéquates (campagnes d'information, établissement des zones de protection, etc.) doivent être engagées dans le bassin versant de la Mingoa et au-delà dans toute la ville de Yaoundé afin de faire face à la dégradation assez avancée des ressources en eau et ceci malgré des contraintes socio-économiques et foncières qui constituent des freins à cette dynamique.

**Mots clés** : hydrodynamique souterraine, Mingoa, pollution, ressources en eau, vulnérabilité, zone de protection.

## INTRODUCTION

La ville de Yaoundé, à l'instar de la majorité des villes subsahariennes a été marquée au cours des deux dernières décennies par de grandes mouvances notamment sur le plan démographique. Cette forte croissance qui tourne autour de 6% (Tanawa *et al.*, 2000) s'est accompagnée d'une forte demande en eau potable et en services d'assainissement. Les populations démunies, face à l'incapacité des pouvoirs publics à fournir un approvisionnement adéquat en eau potable, ont recours aux ouvrages alternatifs d'approvisionnement en eau que sont les puits et les sources pour se procurer de l'eau. Le foisonnement de ces ouvrages alternatifs d'approvisionnement en eau se réalise dans un environnement marqué par la prévalence de l'assainissement individuel. En effet, Il n'existe pas dans la ville de Yaoundé de système de « tout à l'égout » et l'essentiel des eaux usées sont drainées vers des collecteurs principaux que sont les cours d'eau. Les stations d'épuration des eaux polluées (STEP) sont défectueuses. De nombreuses latrines à canon et de latrines à fond perdu côtoient les différents ouvrages alternatifs d'approvisionnement en eau dans un espace assez réduit. Le service de collecte des ordures est inefficace et les déchets issus des activités anthropiques sont déversés dans des endroits de fortune ou dans les lits des cours d'eau. Ces multiples contraintes auxquelles sont soumises les ressources en eau dans la ville de Yaoundé contribuent amplement à détériorer sa qualité. Les conséquences sont visibles aussi bien sur le plan sanitaire (maladies du péril fécal, paludisme, dermatoses, fièvre typhoïde, etc.) que sur le plan environnemental (eutrophisation du lac municipal dans sa partie amont). Il faudrait ajouter à cela, la minéralisation de l'eau au contact de la roche qui bien que moins nocif, constitue un préalable dans la définition de l'usage qui sera destiné à cette eau.

A l'aspect qualité, il faut adjoindre le volet quantité qui fait appel aux modes de recharge de la nappe. Le potentiel de réserve en eau souterraine est amenée à être de plus en plus sollicitée dans les prochaines années compte tenu de l'accroissement de la demande en eau suite à la croissance démographique exponentielle et à l'extension limitée du réseau de distribution d'eau potable par le concessionnaire (SNEC) dans les quartiers périurbains et à habitats spontanés de la ville.

La présente étude réalisée dans le bassin versant de MINGOA à Yaoundé a pour but de contribuer à la connaissance des modes de recharge de la nappe d'une part et de déterminer la qualité physico-chimique et bactériologique des eaux d'autre part. A terme, il est question de proposer des solutions pour un accès durable à l'eau potable par les populations du bassin versant de MINGOA en particulier et de Yaoundé en général, grâce à une protection accrue de la ressource en eau. La problématique centrale de ce travail est fondée sur la trilogie de la disponibilité, l'accessibilité et la qualité de la ressource.

Situé au Centre- Ouest de la ville de Yaoundé, plus précisément dans la commune urbaine d'arrondissement de Yaoundé VI, le bassin versant de MINGOA est localisé entre 3°51' et 3°53' de latitude Nord et entre 11°28' et 11°31' de longitude Est. Il couvre une superficie estimée à environ 214 ha. Le bassin versant de MINGOA présente à l'image de la ville de Yaoundé une topographie en trois paliers constitués : d'un fond marécageux où coule le cours d'eau MINGOA ; des versants contrastés présentant des pentes à l'allure diversifiée et des sommets typiquement arrondis. Les sols ferrallitiques rouges, les sols ferrallitiques jaunes et les sols hydromorphes constituent les principaux types de sols présents dans ce bassin. (Segalen, 1994 ; Ekodeck et Kamgang, 2002 ). Le bassin de MINGOA est drainé par le cours principal de la MINGOA qui prend sa source au quartier Melen IV à 750 m d'altitude. Il y règne un climat équatorial de type guinéen à 4 saisons bien marquées ( Suchel, 1988). Les précipitations pour la période allant de 1984 à 2004 est de 1512, 0 mm ( Ntep, 2005). La valeur moyenne mensuelle interannuelle de températures

pour cette période est de 24,3°C. Sur le plan géologique, le bassin versant de Mingoa appartient au domaine Sud de la chaîne Panafricaine Nord-équatoriale au Cameroun marqué par une évolution polyphasée et monocyclique avec deux phases de déformation (Penaye *et al.*, 1993 ; Nzenti *et al.*, 1998). Le couvert végétal du bassin de la Mingoa est très dégradé par l'action anthropique et remplacé localement par des cultures. Les zones hydromorphes sont occupées par des formations herbacées à cypéracées (graminées), des fougères et quelques plants d'eucalyptus (Letouzey, 1985). Le bassin versant de la Mingoa est caractérisé par une croissance démographique forte marquée par une baisse du taux de mortalité, une natalité importante et un nombre élevé de nouveaux arrivants dû à l'exode rural.

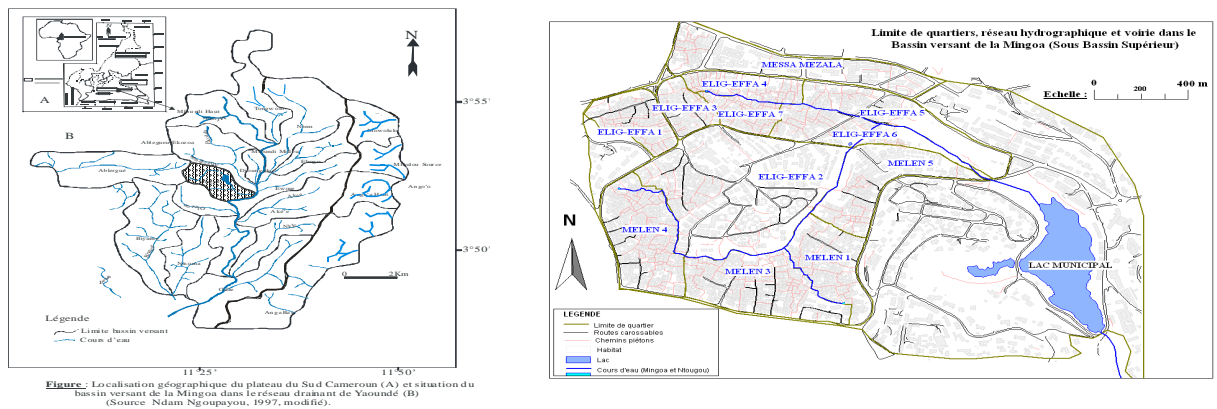


Figure 1 : Localisation géographique du bassin versant de Mingoa à Yaoundé au Cameroun

## MATERIELS ET METHODES

### Approche méthodologique sur l'étude hydrodynamique

La bonne gestion des ressources en eau d'une région nécessite une bonne évaluation quantitative des ressources disponibles. Ainsi la mesure des débits aux sorties des différentes sources et à l'exutoire du bassin mérite d'être bien menée pour l'estimation de la vidange et le calcul de la capacité de rétention du bassin. De novembre 2003 à octobre 2004, l'évaluation du comportement hydrodynamique dans le bassin versant de Mingoa a été effectué à travers le suivi de 30 puits et 07 sources. Des mesures bimensuelles portant sur des débits ont été effectuées aux sorties des 07 sources sélectionnées grâce au jaugeage volumétrique. La mesure est réalisée au point de sortie des eaux du siphon grâce à la méthode de la capacité jaugée. La mesure du niveau piézométrique dans les ouvrages (30 puits) s'est effectuée à l'aide d'un double décimètre lesté d'un suspenseur dont le rôle est de maintenir le ruban tendu lorsqu'on le plonge dans le puits. Dans le cadre de notre travail, les mesures ont été prises tous les 15 et 30 du mois entre 7 et 12 heures de la journée. La localisation géographique des ouvrages suivis a été réalisée à l'aide d'un GPS (Global Positioning System) de marque SP12XMLR permettant la détermination des coordonnées latitudinales (X), longitudinales (Y) et altitudinales (Z).

L'analyse des fluctuations de la surface piézométrique est basée sur l'interprétation des graphiques des profondeurs de l'eau dans le sol. La période définie est l'année hydrologique, tandis que l'amplitude détermine la hauteur de fluctuation annuelle correspondante. La configuration de la carte hydrodynamique du bassin versant de Mingoa a été réalisée grâce aux courbes hydrohypes tracées à l'aide de la méthode de l'interpolation par des programmes informatiques notamment les logiciels SURFER et MAP-INFO.

### Approche méthodologique sur la vulnérabilité des nappes d'eau

Des fiches ont été confectionnées pour la réalisation des enquêtes auprès des puits et des latrines. Les fiches d'enquête des latrines étaient réalisées dans le but d'obtenir des informations sur les types de latrines, les modes d'utilisation, le nombre de ménages bénéficiaires et les interactions qui existent entre les latrines et le milieu environnant. Des ficelles étaient utilisées pour mesurer la profondeur des excréta dans les latrines et le double décimètre pour positionner les latrines environnantes par rapport au point d'eau.

L'enquête des points d'eau (sources et puits) avait pour objectif de recenser tous les points d'eau situés dans le bassin versant de Mingoa. Les fiches de description utilisées dans ce cadre ont permis d'obtenir des informations sur les types d'aménagement des ouvrages, les modes d'utilisation, le nombre de ménages bénéficiaires et les interactions qui existent entre le point d'eau et le milieu environnant.

Des descentes sur le terrain ont permis par ailleurs d'identifier, de décrire et de localiser sur une carte topographique les activités génératrices de pollution. Par la suite, des prélèvements des échantillons d'eau ont été effectués sur 03 sources, 06 puits et au niveau du cours d'eau Mingoa. Les mesures *in situ* ont porté sur quelques paramètres physico-chimiques notamment le potentiel d'hydrogène (pH), la température ( $T^{\circ}$ ), la conductivité (CND) et la salinité (sal). Les mesures de ces paramètres (pH,  $T^{\circ}$ , CND, sal) ont été réalisées à l'aide du conductimètre TDS/conductimeter de marque HACH. Cet appareil est muni d'une sonde standard qui, plongée verticalement dans une solution, permet de lire directement la valeur de chaque paramètre en sélectionnant le bouton correspondant. Le dosage des alcalins ( $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$ ) a été réalisé par la spectrométrie d'émission et la teneur en azote ammoniacal ( $\text{NH}_4^+$ ) par la méthode de Nessler au Laboratoire d'analyses du Ministère de l'Energie et de l'Eau (MINEE) du Cameroun à Yaoundé. Le dosage des ions chlorures ( $\text{Cl}^-$ ), sulfates ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrates ( $\text{NO}_3^-$ ), bicarbonates ( $\text{HCO}_3^-$ ) et les alcalino-terreux ( $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$ ) a été effectué au Laboratoire de Phytoépuration du Département de Biologie et Physiologie végétale de l'Université de Yaoundé I suivant les protocoles expérimentaux décrits par HACH (1992). Le décompte des streptocoques fécaux (SF) et coliformes fécaux (CF) a été réalisé au Laboratoire de phytoépuration du Département de Biologie et Physiologie végétale de l'Université de Yaoundé I suivant la méthode de la membrane filtrante. La demande biologique en oxygène pendant cinq jours ( $\text{DBO}_5$ ) a été réalisée au sein du même laboratoire suivant la méthode dite "manométrique" à l'aide d'un appareil  $\text{DBO}_5$  de marque HACH (modèle 2173B). Les valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) ont été requises pour l'appréciation des valeurs obtenues quant à ce qui concerne les analyses physico-chimiques et bactériologiques des eaux.

La détermination des périmètres de protection s'est appuyée sur la méthode empirique de Rehse complétée par celle de Bölsenkötter, toutes décrites par Lallemand-Barrès et Roux (1999)

## RESULTATS ET DISCUSSION

A l'issue de l'enquête réalisée auprès des points d'eau, 128 puits et 20 sources ont été recensés dans le bassin versant de Mingoa, soit en terme de pourcentage 86,5% de puits contre 13,5% de sources ( Kouam, 2004 ). La profondeur des puits est très variable mais dans l'ensemble du bassin versant de Mingoa, elle ne dépasse jamais 12 mètres. Le rapport altitude/profondeur des puits permet d'établir que la profondeur des puits augmente avec l'altitude. En terme d'aménagement lié au génie civil, les résultats des enquêtes sont assez significatifs et laissent entrevoir que : 70,3% de puits disposent de margelles, 62% de tertres et 70% de couvercle. Le puisage est manuel et est effectué avec une corde lestée d'un seau qui permet de remonter l'eau à la surface. Suivant la situation topographique, l'on constate

que 45 % des sources sont localisées au fond des vallons, 35 % sur les flancs des collines et 20 % dans la zone marécageuse.

Le réseau hydrographique du bassin de la Mingoa est alimenté en amont par sept principales sources qui se joignent pour former le cours de la Mingoa. Les quantités d'eau débitées par sources varient de 0,06 l/s à 0,85 l/s. Le débit annuel total des sources (Ss ; somme des 07 sources) est de 17,3 l/s. Ce volume ne représente que 0,01% d'apport à l'exutoire. L'amplitude de l'hydrogramme est de l'ordre de 0,5. La courbe des écoulements à l'exutoire présente une grande amplitude de 74,6. Sur la base des données piézométriques, la carte piézométrique du bassin de la Mingoa a été réalisée (fig 2).

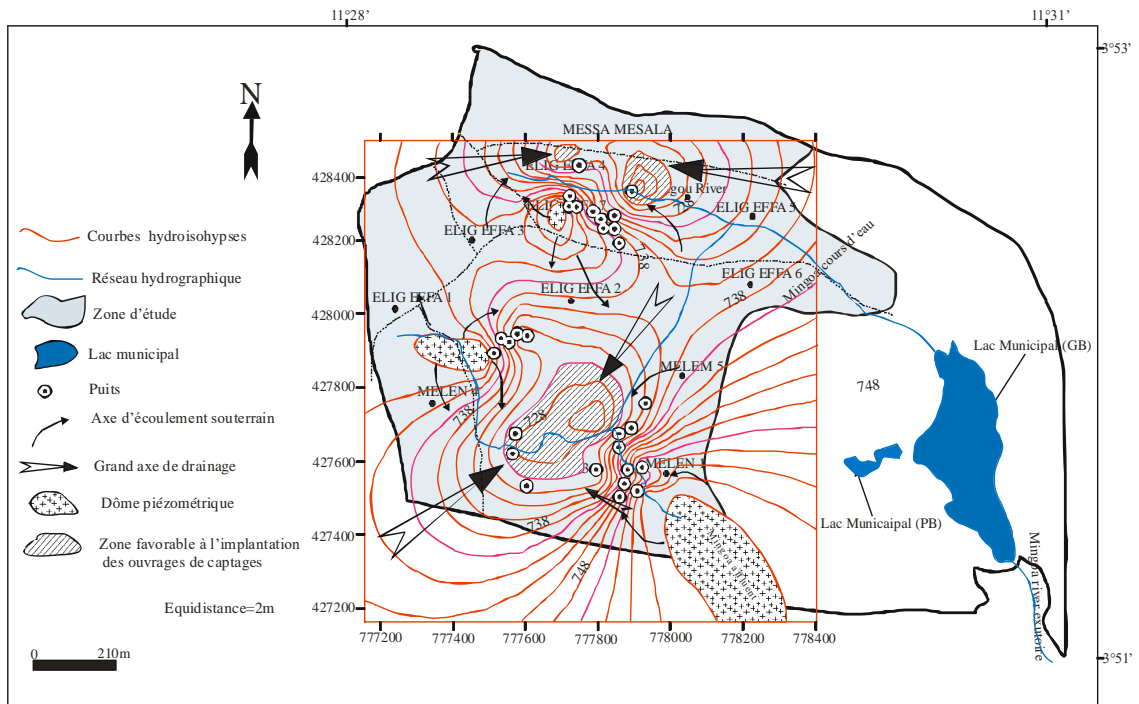


Figure 2 : carte piézométrique du bassin versant de Mingoa

Deux zones bien distinctes ont été délimitées à la lumière de la configuration des courbes hydroisohypses (fig 2) :

- les zones où les courbes forment des lignes fermées en cercles concentriques marquées par des axes d'écoulement centripètes. Tout autour de ces cercles, les valeurs des niveaux piézométriques sont décroissantes du centre vers l'extérieur. (cas des quartiers Melen 4 et Elig-Effa 7) ;

- les zones où les courbes forment des cercles concentriques caractérisés par des axes d'écoulement centrifuges. Tout autour de ces points, les niveaux piézométriques ont des valeurs croissantes du centre vers l'extérieur (la limite des quartiers Melen 3 et Elig - Effa 2, la limite des quartiers Elig -Effa 4 et Messa- Mezala);

L'intersection des axes d'écoulement avec des courbes isopièzes forme des rayons de courbure concaves ou convexes au sens d'écoulement du fluide. Cette double configuration fait exister deux régimes d'écoulements (convergents et divergents) souterrains dans le bassin versant de Mingoa.

Les débits de toutes les sources ainsi que les écoulements superficiels du bassin versant de Mingoa varient proportionnellement aux quantités d'eau tombées dans la zone. Ce résultat laisse entrevoir qu'il n'existe pas dans le bassin versant de Mingoa, une nappe souterraine étendue dans laquelle les eaux précipitées sont stockées pendant un temps relativement long pour l'alimentation des sources. Ce sont les eaux de pluies qui alimentent

directement les vides du sol qui se retrouvent dans le réseau hydrographique après un temps de transit relativement court. La faible intensité des débits d'écoulement au niveau des sources est liée à l'anthropisation de ce bassin qui diminue les phénomènes d'infiltration corollaire des écoulements hypodermiques dont dépendent les sources. Cette anthropisation favorise la mise en place des surfaces imperméables dites *zones contributives* dans le bassin de Mingoa. En effet, la présence de ces zones généralement composées des routes, aires à sol compacté, bâtis, etc. a pour effet l'accroissement des crues à l'exutoire même pour une faible averse.

Le comportement des nappes phréatiques dans le bassin de Mingoa varie énormément suivant la position topographique. En bas de pente, la variation piézométrique est très peu sensible tandis qu'au sommet des versants, les nappes semblent évoluer en tenant compte des périodes de tarissement de la Mingoa. La faible profondeur du niveau de l'eau dans le sol du bassin versant de Mingoa (< 12 m) le long de l'année prouve la disponibilité d'une ressource pérenne et facilement exploitable à l'aide des ouvrages alternatifs d'approvisionnement en eau. Les écoulements souterrains dans le bassin versant de Mingoa sont de deux types (convergentes et divergents) et se font préférentiellement dans les directions NE- SW ; SE- NW et N- S. Les sites des quartiers Melen 4 et Elig-Effa 7 constituent les aires d'alimentation de la nappe tandis que ceux des quartiers Melen 3 et Messa-Mezala pourraient se prêter facilement aux implantations des ouvrages de captage sous réserve des propriétés de la nappe.

Les sources de pollution identifiées dans le bassin versant de Mingoa sont variées et portent sur : la station d'épuration des eaux usées non fonctionnelle du Camp Sic Messa, les latrines traditionnelles, les hôpitaux et laboratoires d'analyses médicales, les tas d'ordures sauvages, les activités économiques formelles et informelles, l'élevage des porcs et de la volaille, l'usage des pesticides pour les activités agricoles et le système d'assainissement inefficace. Toutes ces activités compromettent de plus en plus sérieusement la qualité des ressources (Banton et Bangoy,1997) en émettant des polluants de nature physique (matières en suspension, radioactivité, chaleur, etc.), chimique (métaux lourds, détergents, hydrocarbures, solvants, etc.) et microbiologique (microorganismes, virus, bactéries ; fig. 3).

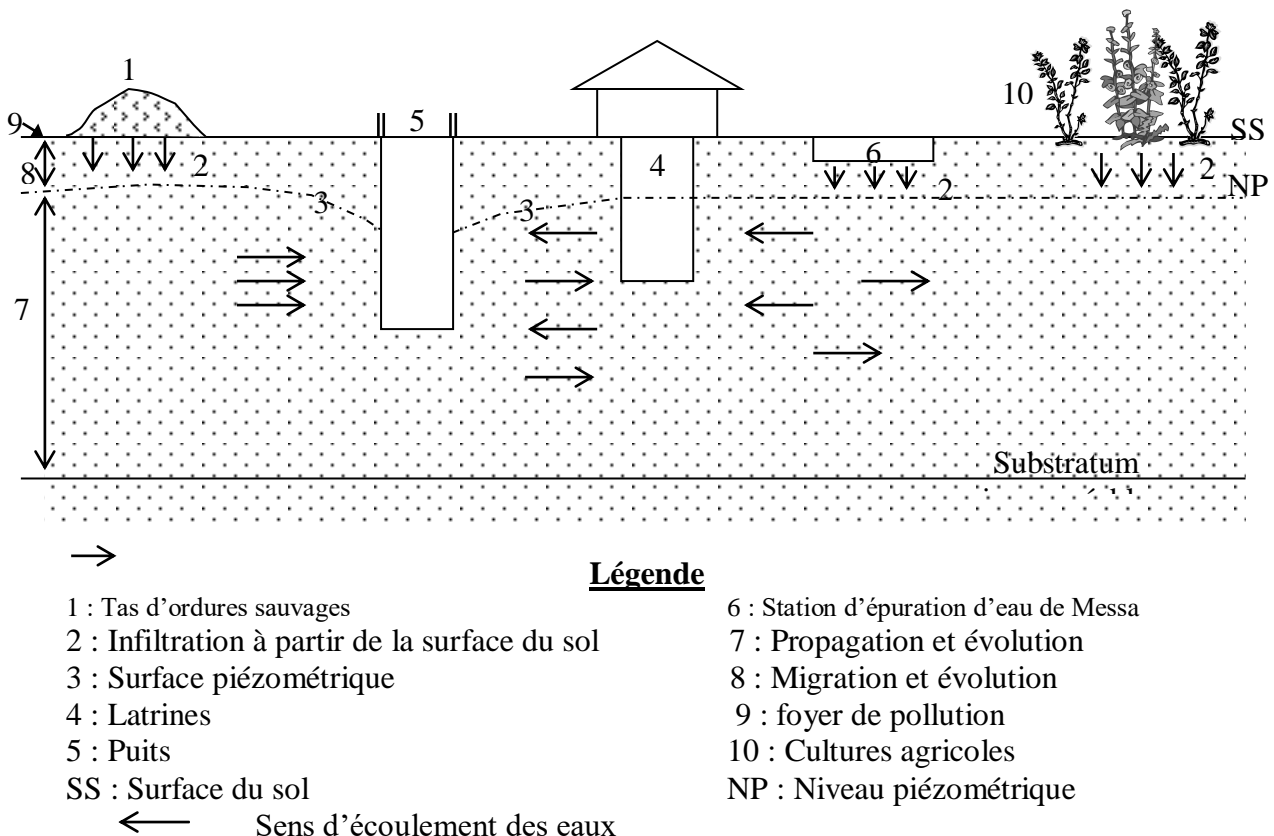


Figure 3 : Mécanisme de diffusion des polluants dans les eaux de puits dans le bassin versant de Mingoa.



Photo 1 : Puits non aménagé à Melen III



Photo 2 : Déchets solides et liquides au marché Mokolo



Photo 3 : Eutrophisation du Lac Municipal



Photo 4 : Latrines à canon établies sur la Mingoa

**Tableau 3:** Résultats des analyses physico-chimiques des eaux prélevées dans les puits et sources du bassin versant de Mingoa (saison humide ; Kouam, 2004).

Code échantillon	Type d'ouvrages	ANALYSES PHYSICO-CHIMIQUES												
		T(°C)	CND (μS/cm)	pH	Salinité (‰)	K <sup>+</sup> (mg/l)	Na <sup>+</sup> (mg/l)	Mg <sup>2+</sup> (mg/l)	Ca <sup>2+</sup> (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	CO <sub>2</sub> (mg/l)
KP <sub>1</sub>	Puits (PA)	27,5	211	5,92	0,1	3	7	0,79	0,07	39,05	Tr	1	47,75	0,11
KM <sub>2</sub>	Cours d'eau	27,6	403	6,56	0,2	5	9	0,52	0,04	51,83	0,2	8	19,63	0,30
KS <sub>3</sub>	Source (SSA)	27,4	248	5,9	0,1	6	9	0,48	0,03	111,47	Tr	1	64,5	0,11
KS <sub>4</sub>	Source (SNA)	27,8	413	5,68	0,2	3	7	0,45	0,01	58,93	0,5	1	34,72	0,13
KP <sub>5</sub>	Puits (PNA)	27,8	1048	6,51	0,5	4	7	0,46	0,02	132,06	0,2	8	73,1	0,31
KS <sub>6</sub>	Source (SA)	27,9	235	5,3	0,1	5	10	0,42	0,01	34,08	0,2	0	46,23	0,38
KP <sub>7</sub>	Puits (PNA)	27,9	399	5,7	0,2	2	2	0,67	0,05	120,7	0,2	1	60,52	0,24
KP <sub>8</sub>	Puits (PSA)	27,9	730	5,99	0,4	7	2	0,53	0,04	137,21	0,1	16	29,72	0,15
KP <sub>9</sub>	Puits (PSA)	28	80,7	5,72	0	2	5	0,44	0,02	17,04	0,1	0	51,81	0,73
KP <sub>10</sub>	Puits (PA)	28	88,2	5,67	0,1	3	4	0,74	0,06	22,72	0,1	0	50,2	0,11
Normes OMS		25 max	20 – 1250	6,5 – 8,5	–	12	150 max	50 max	100 max	200 max	50	400 max	–	0

**Tableau 4** : Résultats des analyses bactériologiques des eaux prélevées dans les puits et sources du bassin versant de Mingoa (journée du mardi 20/10/2004 ; saison humide ; Kouam, 2004)

Code échantillon	Type d'ouvrage	Analyses Bactériologiques			DBO <sub>5</sub>
		NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	SF (UFC/100ml)	CF (UFC/100ml)	
KP <sub>1</sub>	Puits (PA)	1,20	81	900	-
KM <sub>2</sub>	Cours d'eau	4,65	5,80x10 <sup>5</sup>	1,07x10 <sup>6</sup>	115
KS <sub>3</sub>	Source (SSA)	3,40	200	1400	-
KS <sub>4</sub>	Source (SNA)	2,60	180	2000	-
KP <sub>5</sub>	Puits (PNA)	1,25	48	700	-
KS <sub>6</sub>	Source (SA)	0,67	54	300	-
KP <sub>7</sub>	Puits (PNA)	0,93	54	600	-
KP <sub>8</sub>	Puits (PSA)	1,10	180	1600	-
KP <sub>9</sub>	Puits (PSA)	0,86	92	1200	-
KP <sub>10</sub>	Puits (PA)	0,80	160	1900	-
Normes OMS		0,5	0	0	

Les eaux analysées sont bicarbonatées sodiques (20% des échantillons prélevés) et chlorurées sodiques potassiques (80% des échantillons prélevés). Les cations de calcium (Ca<sup>2+</sup>), magnésium (Mg<sup>2+</sup>), sodium (Na<sup>+</sup>) et potassium (K<sup>+</sup>) contenus dans les eaux du bassin versant de Mingoa sont issus des gneiss à grenat et disthène présents dans la zone d'étude. Les analyses géochimiques réalisées sur les gneiss à grenat et disthène présentent en effet des proportions non négligeable des oxydes de ces différents éléments (Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup>). Les ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> proviennent de l'altération des minéraux tels que les feldspaths et des micas. L'eau souterraine au cours de son séjour et de son écoulement dans les formations hydrogéologiques perméables subit des échanges géochimiques avec son réservoir permettant de modifier les caractéristiques de l'eau (Castany, 1982). Par ailleurs, l'appauvrissement en calcium et magnésium des eaux est dû aux phénomènes d'adsorption et de fixation qui se produisent dans les franges argileuses. Ce phénomène est réalisée dans le bassin versant de Mingoa par des permutolites, constituées d'argiles et d'hydroxyde ferrique issus de l'altération des gneiss d'une part et de la dégradation des substances organiques d'autre part. L'indice d'échange de base tel que défini par Schoeller (1962) dans un rapport toujours positif (0,5 et 4,40) confirme à posteriori que les eaux échangent leurs ions Na<sup>+</sup> et K<sup>+</sup> contre les alcalino-terreux des permutolites. Ces échanges contribuent d'une part à augmenter les teneurs ioniques et pondérales des alcalino-terreux et à baisser les teneurs en alcalins d'autre part. Cependant, la prévalence du sodium sur le potassium peut s'expliquer d'une part par l'absorption et la mobilisation du potassium dans les minéraux néoformés au cours de l'altération (Le Maréchal, 1976).. Les ions Cl<sup>-</sup> proviendraient essentiellement de trois sources sans que l'on puisse dire avec précision, la part de chacune d'elle : une origine atmosphérique liée aux précipitations ; une origine liée à la présence de recouvrement argileux car selon Savadogo (1984) le recouvrement argileux favorise une surconcentration des chlorures et du magnésium par évaporation et dissolution. Cependant, dans les eaux du bassin versant de Mingoa, les teneurs en chlorures sont fortes alors que celles des ions magnésium sont faibles ; et enfin une origine liée à l'utilisation de l'eau de javel par les populations. Les faibles teneurs



de nitrates trouvées dans ces eaux proviennent essentiellement de la dégradation microbienne dans le sol, des engrais et de la matière organique. La présence des nitrates dans les eaux superficielles est généralement un indice de pollution domestique. En effet, non présents dans les formations géologiques ou très rares, les nitrates sont d'origine agricole. Les sulfates pourraient provenir de l'oxydation de la pyrite avec mise en solution du fer dans les formations gneissiques du bassin versant de Mingoa. Les bicarbonates proviennent essentiellement de la dissolution du CO<sub>2</sub> atmosphérique et pédologique (Schoeller, 1962) d'une part et d'autre part de l'action de la couverture végétale (Savadogo, 1984). Les valeurs de l'azote ammoniacal varient de 0,67 à 4,65 mg/l et sont supérieures à 0,5 mg/l qui est la valeur référence fixée par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). Les valeurs des teneurs en streptocoques fécaux (de 48 à 5,80 x 10<sup>5</sup> UFC/100 ml) et en coliformes fécaux (de 300 à 1,07 x 10<sup>6</sup> UFC/100 ml) largement supérieures à la valeur seuil (0 UFC/100 ml) fixée par l'OMS permettent de conclure que ces eaux sont polluées et vivement déconseillées à la consommation humaine. Les valeurs des teneurs en streptocoques fécaux, coliformes fécaux et azote ammoniacal dans l'eau sont assez significatives et militent en faveur des communications hydrauliques permanentes entre les eaux des puits et celles des latrines (Kouam, 2004). La valeur de la DBO<sub>5</sub> (115) enregistrée sur l'échantillon du cours d'eau Mingoa est élevée et conforte l'idée de la pollution accrue de la nappe superficielle. La mauvaise qualité bactériologique des eaux est dans une large mesure responsable des maladies du péri-fécal qui affectent les enfants âgés de moins de cinq ans dans cette zone.

Les techniques à mettre en œuvre pour amener les eaux de ces ouvrages à la neutralité (pH = 7) ou pour assurer le rabattement des teneurs en azote ammoniacal, en DBO<sub>5</sub> et réduire le nombre de coliformes et streptocoques fécaux sont très complexes et très onéreuses pour les différents ménages propriétaires des puits et sources. La détermination des zones de protection nécessaires à la préservation des nappes d'eau s'impose dans ce contexte afin de réduire la contamination des ressources en eau.

La quantité totale d'eau prélevée chaque jour par les populations à travers la nappe est évaluée à environ 995,52 m<sup>3</sup> tandis que les eaux usées produites sont estimées à environ 1034,304 m<sup>3</sup>/j/pop. Les eaux usées ainsi produites sont en l'absence des réseaux d'assainissement efficaces drainées vers des ouvrages complémentaires d'approvisionnement en eau ou vers le cours d'eau Mingoa à travers des rigoles de fortune. La conductivité hydraulique équivalente des sols déterminée à partir des mesures granulométriques varient entre 2,4 x 10<sup>-5</sup> et 1,1 x 10<sup>-3</sup> m/s (Djeuda Tchapinga et *al.*, 1998.). Si l'on assimile les conductivités hydrauliques équivalentes à des vitesses de circulation apparentes de l'eau dans le sol (m/s), alors il est possible de déterminer les temps de transit nécessaires aux particules toxiques pour parcourir les distances entre les latrines qui génèrent la pollution et les puits dans lesquels on trouve les indicateurs de pollution anthropique par la relation suivante :

$$\text{Temps de transit (s)} = \frac{\text{Distance (m)}}{\text{Conductivité hydraulique équivalente (m/s)}}$$

Après calcul, la valeur du temps de transit moyenne est estimée à environ 0,5 mm/s.

La méthode empirique de Rehse décrite par Lallemand-Barrès et Roux (1999) permet le calcul du pouvoir épurateur des sols lors du transfert d'un polluant de la surface du sol jusqu'à l'aquifère par circulation verticale dans la couverture (sol + zone non saturée) et par écoulement horizontal dans l'aquifère jusqu'au captage. Bölsenkötter cité par Lallemand-Barrès et Roux (1999) a complété la méthode de Reshe en proposant la distance utile à parcourir pour une protection dans le contexte des milieux fissurés. La relation est décrite par la formule suivante :

$$L(m) = \left[ \frac{Q_{25}}{bn\pi} \right]^{1/2} \quad \text{Où} \quad Q_{25} = \text{débit à la source en m}^3 \text{ en 25 jours ;}$$

b = épaisseur de l'aquifère en mètre ;  
n = porosité équivalente des sols traversés.

L'application de cette relation au cas du bassin versant de Mingoa s'est faite à l'aide des valeurs obtenus auprès de la source Ntap Ntap (le débit retenu :  $Q = 0,08$  l/s) et des études granulométriques des sols. En combinant les résultats obtenus à travers les deux relations (Reshe et Bölsenkötter), on peut proposer deux zones de protection dans ce bassin versant ;

- La zone 1, considérée comme périmètre immédiat de protection devrait avoir un rayon de 10 m. Dans cette zone, aucune latrine, dépôt sauvage d'ordures, ne devraient être réalisés. La lessive, l'élevage ainsi que toutes autres activités génératrices de polluants y sont fortement déconseillés.
- La zone 2 considérée comme périmètre rapproché aura un rayon variable entre 10 et 20 m. Dans cette zone, les dépôts sauvages d'ordures et rejets des produits polluants ne devraient pas être réalisés.

Le sol peut dans ces conditions jouer pleinement son rôle épurateur. En effet comme le dit Recordon (1986), le sol détruit la quasi totalité des micro-organismes pathogènes et provoque une rétention des substances chimiques notamment par adsorption sur certaines argiles. Notons cependant pour le signifier que la nature argileuse d'un terrain n'est pas un remède absolu à la contamination des eaux, c'est tout simplement un frein comme le dit Ngounou Ngatcha (1993). Warren Viessmann et *al.*, (1983) avant lui signalent que les infiltrations polluantes de nature chronique (rejet d'eaux usées domestiques, etc.) finissent toujours par atteindre la nappe malgré la présence d'écran argileux qu'il traverse à la vitesse de déplacement maximal de 0,10 m/h. Ainsi, au-delà de la mise en place des périmètres de protection, il est nécessaire de déterminer les voies et méthodes visant à réduire la production et la propagation des polluants dans le bassin versant de la Mingoa. Les actions portent essentiellement sur : les travaux de génie civil (construction des margelles, tertres) devraient être réalisés sur les points d'eau traditionnels; les Organisations Non Gouvernementales (ONG) doivent relayer la société de ramassage des ordures (Hygiène et Salubrité du Cameroun) et la communauté urbaine en ce qui concerne la pré collecte des ordures ménagères à l'intérieur des quartiers ; les latrines à canon établies sur la Mingoa devront être détruites ; les fosses à fond perdu devraient être remplacées par les fosses à fond ventilé. L'établissement de ces fosses devrait être mis en place en tenant compte des zones de protection ; des zones fiables et bien aménagées devraient être requises pour le développement de l'élevage. De même, l'utilisation en quantité importante des intrants agricoles en agriculture devrait être prohibée. Des techniques culturales dans les bas fonds doivent être améliorées afin de favoriser la circulation rapide des eaux ; réhabiliter la station d'épuration des eaux du Camp Sic Messa. Sous un plan général, la mise en place d'un plan d'assainissement ainsi que l'installation d'évacuations individuelles agréées, le tout raccordé à des stations d'épuration ; du curage du cours d'eau Mingoa pour permettre une circulation rapide des eaux. Ceci pourra permettre de lutter contre les inondations qui ont souvent cours dans la zone ; constitution d'un service public d'assainissement de proximité pris en charge par les populations à travers des comités d'assainissement qui soit économiquement fiable ; informer, éduquer et communiquer (I.E.C). C'est la solution provisoire et la plus durable. Il est important de sensibiliser les utilisateurs de l'eau sur les dangers de la pollution et la nécessité de la prévention, de la protection de la qualité de l'eau et de l'amélioration de la sécurité d'approvisionnement.

Ces propositions soulèvent un certain nombre de problèmes notamment ceux liés aux problèmes fonciers, juridiques, économiques et sociaux. Sur le plan économique, les populations n'ont pas assez de moyens pour se procurer des latrines à fonds ventilés ou encore aménager de façon fiable les puits. Les populations sont plus préoccupées à avoir de l'eau et se soucient très peu de sa qualité. Le problème foncier est récurrent dans cette zone péri-urbaine. Les parcelles ont de faibles superficies et dans ce contexte un ménage qui réalise son puits ne dispose aucun moyen pour contraindre son voisin de ne pas faire sa latrine dans les environs. Sur le plan juridique la notion de périmètre de protection autour des ouvrages de captage n'est pas encore mise en application au Cameroun, bien que l'article 7 de la loi N° 98/005 du 14 avril 1998 portant régime de l'eau prévoit d'instituer des périmètres de protection autour des points de captages, de traitement et stockage des eaux destinées à la consommation humaine (Djeuda Tchapnga et *al.*, 1998).

## **CONCLUSION**

Au terme de ce travail, de nombreux résultats se dégagent permettant d'avoir une connaissance sur la dynamique des eaux en zone tropicale et sur l'influence des roches et des activités anthropiques sur la qualité des eaux. Dans le bassin versant de Mingoa, il n'existe pas à proprement parlé une nappe souterraine étendue dans laquelle les eaux précipitées sont stockées pendant un temps relativement long pour l'alimentation des sources. Ce sont les eaux de pluies qui alimentent directement les vides du sol liant ainsi les apports pluviométriques aux fluctuations de la nappe. Des écoulements convergents et divergents sont observés au sein de la nappe permettant de délimiter des zones favorables ou défavorables pour l'implantation des ouvrages d'approvisionnement en eau. Des déchets liquides et solides issus des activités humaines et à l'absence d'un dispositif efficace d'approvisionnement en eau contribuent à la dégradation permanente des ressources en eau. Grâce aux données ponctuelles, des périmètres de protection ont été calculés afin de permettre au sol de jouer pleinement son rôle épurateur. Des mesures coercitives doivent être prises afin de permettre aux populations du bassin versant de Mingoa d'avoir accès à une eau potable et ce dans un environnement acceptable. Toute une synergie intégrant les décideurs politiques, les Organisations Non Gouvernementales, les chercheurs et les populations doit être mise en place pour permettre à cette population d'atteindre avec la communauté internationale d'ici à 2015, les objectifs du millénaire pour le développement. Les résultats obtenus dans le cadre de ce travail pourront constituer des éléments d'aide à la décision.

## **REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES**

**BANTON O. et BANGOY L.M. (1997).** Hydrogéologie : multiscience environnementale des eaux souterraines. Presse de l'Univ. du Quebec (Canada)/Aupelf, 460 p.

**CASTANY G. (1982).** Principes et méthodes de l'hydrogéologie : Dunod Paris. 236 p.

**DJEUDA TCHAPNGA H.B. ; TANAWA E. ; SIAKEU J. et NGNIKAM E. (1998).** Contraintes sociales liées à la mise en place des périmètres de protection des ressources en eau dans les zones périurbaines et les petits centres des pays en développement. Communication présentée au IIème Symposium International en gestion et technologies appropriées pour l'eau aux petits ensembles habités. Barcelone (Espagne). Du 13 au 15 octobre 1998. 11 p.

**EKODECK G.E. et KAMGANG K.B., (2002).** Altérologie normative et ses applications. Une expression particulière de la pétrologie des roches aluminosilicatées du point de vue de leur évolution supergène. Collection connaissances de...PUY., 231 p.

**HACH (1992).** Handbook of water analysis. 2nd edition, Colorado. 231p.

**KOUAM KENMOGNE G.R., (2004).** Contribution à l'étude de la vulnérabilité des nappes superficielles en zone urbaine tropicale : cas du bassin versant de la Mingoa-Yaoundé. Mém. DEA. Univ Ydé 1, 115 p + annexes.

**LALLEMAND-BARRÈS A. et ROUX J. C. (1999).** Périmètres de protection des captages d'eau souterraine destinée à la consommation humaine. Manuel et méthodes n° 33, Ed. BRGM, 334 p.

**LETOUZEY R., (1985).** Notice sur la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500 000. IRA, Yaoundé et Inst. Cart. Inter. Végétation, Toulouse, 5 vol.

**MEDZA EKODO J.M., (2002).** Piézométrie, hydrodynamique et battements des nappes souterraines en zone de socle cristallin : cas du bassin versant de l'Anga'a sud-est Yaoundé. Mém. DEA. Univ. Ydé 1, 86 p.

**NGOUNOU NGATCHA B. (1993).** Hydrogéologie d'aquifères complexe en zone semi aride : les aquifères quaternaires du grand Yaéré (Nord-Cameroun). Thèse Doct., Univ. Joseph Fourier – Grenoble I, 352 p.

**NTEP F. (2005).** Hydrodynamique et qualité des eaux des nappes en zone de socle cristallin fissuré et altéré : cas du bassin versant de la Mingoa (Yaoundé-Cameroun). Mém. DEA. Univ Ydé 1, 84 p + annexes.

**NZENTI J.P., NJANKO T., NJIOSSEU E.L.T. et TCHOUA F.M. (1998).** Les domaines granulitiques de la chaîne panafricaine Nord Equatoriale au Cameroun. In Geosciences au Cameroun, VICAT J.P. et BILONG P. (eds), Collect. GEOCAM, 1/1998, Press. Univ. Ydé I, pp. 255 – 264.

**PENAYE ; TOTEU, S.F. ; VAN SHMUS, W.R. et NZENTI, J.P. (1993).** Données géochronologiques préliminaires (U-Pb et Sm-Nd) Sur la Serie de Yaoundé : Age du métamorphisme granulitique de la zone mobile panafricaine à proximité du craton du congo. C.R. Acad. Sci. Paris, 317, pp. 789 – 794.

**RECORDON E. (1986).** Ecoulements souterrains. Dpt. de Génie Civil. Labo. de Méca. des sols. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 142 p.

**SAVADOGO A. N. (1984).** Géologie et hydrologie du socle cristallin de Haute-Volta : Etude régionale du bassin versant de la Sissili. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Grenoble, 351 p.

**SCHOELLER H. (1962).** Les eaux souterraines, hydrologie dynamique et chimique, recherche exploitation et évolution des ressources. Masson Edit., Paris, 611 p.

**SEGALEN, P. (1994).** Les sols ferrallitiques et leur répartition géographique. ORSTOM, Paris (éds.), 3 tomes.

**SUCHEL, J.B. (1988).** Les climats du Cameroun. Thèse Doct. d'Etat, Univ. Saint Etienne, 1188 pages.

**TANAWA E., DJEUDA TCHAPNGA H.B., NGNIKAM E., TEMGOUA E. et SIAKEU J. (2000).** Habitat and protection of water resources In suburban areas in Africa cities. Building and Environment N° 37, Pergamon, Elsevier. Pp. 269 – 275.

**WARREN VIESSMANN J.R., MARRK J. et HAMMER (1983).** Water supply and pollution control ; 5ème édition, Harper Collins College Publishers, pp. 80 – 121.