

## Étude des facteurs de pollution des ressources en eau en milieu urbain : cas de Bafoussam (Ouest-Cameroun)

H.G. MPAKAM<sup>1</sup>, G.R. KOUAM KENMOGNE<sup>2</sup>, T. TAMO TATIÉTSÉ<sup>3</sup>, Eric MAIRE<sup>4</sup>,  
Jean-loup BOEGLIN<sup>5</sup>, G.E. EKODECK<sup>1</sup> et Bernard DUPRÉ<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Université de Yaoundé I

<sup>2</sup> Université de Liège

<sup>3</sup> Ecole Nationale Supérieure Polytechnique

<sup>4</sup> Université de Toulouse-Le Mirail

<sup>5</sup> Institut de recherche pour le développement (IRD)

<sup>6</sup> Observatoire Midi Pyrénées. Mhernaniegrelle@yahoo.fr; grkouam@yahoo.fr; gekodeck@yahoo.fr;

eric.maire@univ-tlse2.fr

### Résumé :

Cette étude développée à Bafoussam (Ouest-Cameroun) a permis de déterminer les facteurs responsables de la dégradation des ressources en eau. Les analyses physico-chimiques et bactériologiques des échantillons d'eau prélevés dans les puits, les sources et les cours d'eau pendant la saison des pluies et pendant la saison sèche ont été effectuées. Les résultats montrent d'une part que les eaux de puits, de sources et des cours d'eau sont bactériologiquement très chargées. De nombreux pathogènes tels que *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella* et beaucoup d'autres bactéries témoins de la contamination fécale y ont été observés. Sur le plan chimique, de fortes teneurs en nitrates et en ammonium ont été enregistrées dans les eaux de puits et de sources. Les eaux de surface (ruisseaux et rivières) présentent de fortes teneurs en bicarbonates, phosphates, chlorures et matières en suspension. La DBO5 et la DCO sont élevées, avec des rapports DCO/DBO5 très supérieurs à 3. La dégradation des eaux est due à la présence des latrines, des tas d'ordures, des fermes, à la vidange des ouvrages d'assainissement dans la nature et plus particulièrement dans les cours d'eau. D'autre part, différentes corrélations intégrant les paramètres physiques (distances puits-latrines, position topographique, nombre de latrines, position de la source de pollution, type d'aménagement du puits) à la qualité de l'eau ont été effectuées et ont permis de déterminer les différents facteurs de pollution des eaux souterraines dans la ville de Bafoussam. Le sens d'écoulement des eaux souterraines, les fluctuations du niveau de la nappe, la distance du point d'eau à la source de pollution, et à moindre degré l'aménagement sont les facteurs qui contrôlent la qualité des eaux souterraines à Bafoussam. Aucune corrélation n'a été notée entre la position topographique ou encore le nombre de latrines autour du point de captage et la qualité des eaux souterraines. Par ailleurs, les études hydrodynamiques ont montré que la nappe est directement alimentée par les précipitations. En effet, les niveaux piézométriques varient avec la pluviométrie et la topographie. En bas de pente et dans les zones marécageuses, la nappe est sub-affleurante, par conséquent les niveaux piézométriques sont proches de la surface du sol. Les plus grandes fluctuations de la nappe sont observées sur les sommets et les zones proches des sommets.

### INTRODUCTION

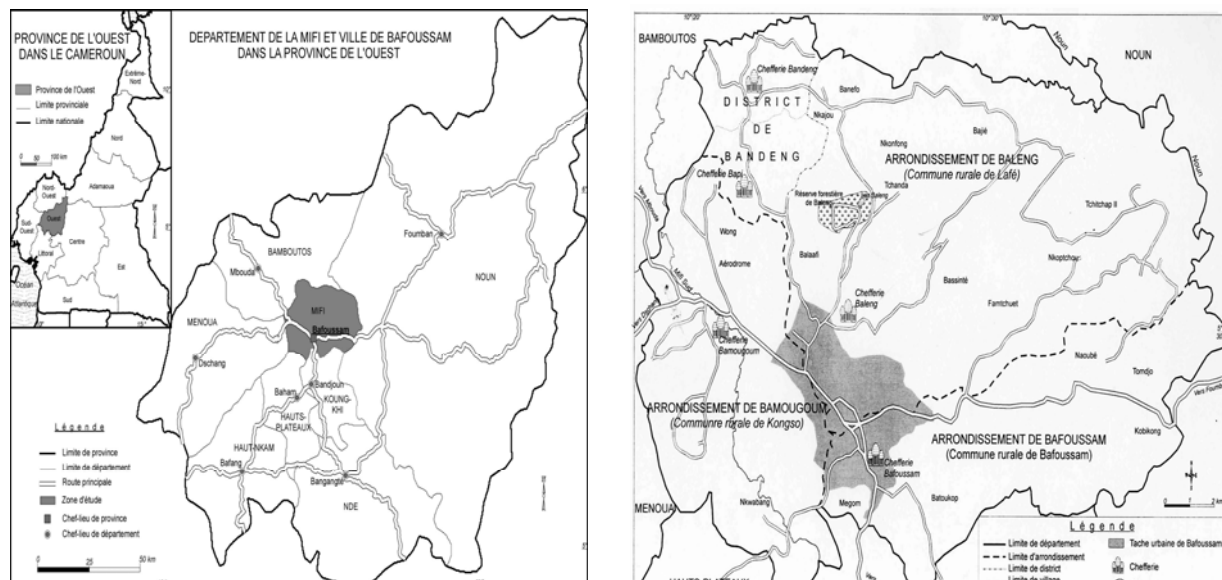
Dans les villes des PED, les populations augmentent si rapidement que les économies locales, les services publics et les infrastructures ne peuvent suivre. Ce qui crée d'énormes problèmes aux autorités chargées de l'aménagement urbain dont les plus cruciaux sont l'accès aux services d'assainissement et de distribution d'eau potable. Ces problèmes sont accentués dans les villes secondaires comme Bafoussam où l'État accorde très peu d'attention. Les maladies hydriques représentent la deuxième cause de mortalité et de morbidité infantile, après le paludisme dans la ville de Bafoussam. En effet, dans la plupart des pays en développement en général et de Bafoussam en particulier (Mpakam et al., 2006), la grande majorité des populations ont directement recours aux eaux de la nappe et aux cours d'eau pour leur approvisionnement en eau potable. Cependant, de nombreuses études ont permis de mettre en évidence la mauvaise qualité chimique et bactériologique de ces eaux dans les pays en développement.

Des travaux spécifiques ont traité de l'impact du mauvais assainissement sur la qualité des ressources en eau dans les villes des pays d'Asie et d'Afrique subsaharienne. Ces travaux mettent en évidence la pollution bactériologique et azotée des nappes superficielles et des cours d'eau (Nairain, (2002); Chippaux et al.,(2002) à Niamey ; Mokofio et al.,(1991) à Bangui ; Makoutode et al.,(1999) à Cotonou, Evens et Per Lindskog (2000) à Haïti ; Lhadi et al.,(1996), Tazi Ouadia et al.,(2001), Ben Kabour et Zouhri (2005), Hassoune et al., (2006), Asslouj et al.,(2007) au Maroc, UNESCO (1997) ; Deme (2003) ; Diallo (2004) au Sénégal ; Suzanne Yameogo (2002) ; Baba-Moussa et al., (1995) à Ouagadougou ). Ils concluent que ces pollutions proviendraient d'un mauvais assainissement des excréta. D'autres travaux ont révélés la présence des nitrates et des coliformes dans les eaux souterraines dans les zones agricoles et estiment que cette pollution proviendrait de la réutilisation des eaux usées brutes en agriculture, de l'apport excessif de l'eau et des engrais azotés (Lyakhloufi et al., 1999 ; Aghzar et al., 2002 ; Derradji et al., 2007 ; Abdelaziz et al., 2007). Hakou, 2001 et Derradji et al., 2003 révèlent dans leur étude la pollution de la nappe par les lixiviats issus d'une décharge non contrôlée. Au Cameroun, quelques études menées dans les villes comme Yaoundé (Chikaha Tchouya, 1993 ; Nola et al., 1998 ; Bemmo et al, 1998 ; Djuikom, 1998 ; Djeuda Tchapinga et al., 1998 ; Djombe, 2000 ; Ndjama, 2001 ; Wethe et al., 2003 ; Kouam Kenmogne, 2004), Douala (Mafany, 1999 ; Gloria, 2000), Maroua (Action Against Hunger, 1999) ont également révélé la pollution fécale des nappes superficielles et des cours d'eau. À Bafoussam aucune étude sur la qualité des eaux, ni sur les sources de contamination n'avait encore été réalisée. L'état ne pouvant pas dans un contexte de crise de finance assurer l'accès à l'eau potable et à l'assainissement à tous, il était donc nécessaire d'étudier et de comprendre les facteurs qui conditionnent la pollution des ressources en eau dans cette ville. Notre étude, en plus de faire une analyse de la qualité des eaux se propose également d'étudier les facteurs de pollution de ces eaux. Ce travail est subdivisé en trois parties distinctes. La première porte sur la présentation de la zone d'étude et la démarche adoptée, la deuxième sur les résultats et discussions et enfin la dernière partie sur les recommandations.

## MATERIELS ET METHODES

### *PRÉSENTATION DE LA VILLE DE BAFOUSSAM*

Bafoussam est située sur les Hautes Terres de l'Ouest Cameroun, avec une superficie de 2600 hectares, une population de 360745 habitants en 2005, entre les latitudes 5°26' et 5°31' Nord; et les longitudes 10°21' et 10°30' Est.



**Figure 1 :** Présentation de la ville de Bafoussam

Bafoussam est située à l'intersection de trois chefferies: Bafoussam au Sud, Baleng au Nord et Bamougoum à l'Ouest.

Le climat est de type camerounien d'altitude à deux saisons bien marquées: une saison des pluies longue de 8 à 9 mois et une saison sèche courte de 3 à 4 mois. La ville de Bafoussam donc marquée par une pluviométrie abondante (1940 mm / an). Vu sur le plan quantitatif, l'approvisionnement en eau des populations, ne devrait présenter aucune difficulté. Cependant, il ne faudrait pas sous- estimer le volet qualitatif.

### ***COLLECTE DES DONNÉES***

Des investigations ont été menées sur le terrain et au laboratoire. Les travaux de terrain se sont déroulés dans la ville de Bafoussam, les analyses des eaux ont été effectuées au laboratoire du Centre Pasteur de Yaoundé et le traitement des données a été fait au LMTG de Toulouse en France. La démarche adoptée a été l'approche écosystémique à la santé humaine dont les trois piliers sont la participation de la communauté concernée, la transdisciplinarité et l'équité intégrant le genre.

Les investigations développées sur le terrain ont porté essentiellement sur le recensement exhaustif et la description de tous les ouvrages alternatifs d'approvisionnement en eau. Il s'agit de déterminer toutes les sources potentiellement de pollution autour des points de captages traditionnels (puits et sources) et le long des cours, de déterminer les distances qui séparent les points de captages d'une source de pollution, le degré d'aménagement de ces points de captages, ...

Par la suite, afin de déterminer le degré de pollution des eaux, des sources, puits et cours d'eau représentatifs ont été sélectionnés sur l'ensemble de la ville de Bafoussam et ont fait l'objet d'un suivi:

- Mesures bimensuelles des fluctuations du niveau de la nappe pendant une année,
- Mesures bimensuelles des débits des sources pendant une année,
- Prélèvements des échantillons d'eaux pour analyses physico-chimiques et bactériologiques pendant la saison sèche et pendant la saison des pluies. Les analyses ont été effectuées selon les normes AFNOR.

Les coordonnées géographiques de chacun des points sélectionnés ont été relevées à l'aide d'un GPS. 25 puits ont été retenus (5 au sommet, 8 à mi-pente, 9 en bas de pente, 5 dans les marécages), 6 sources: 2 aménagées, 2 sommairement aménagées, 2 non aménagées. Enfin, 9 points ont été retenus répartis sur trois cours d'eau : 5 points sur le cours d'eau qui draine la zone industrielle, et 4 dans la zone spontanée. Les critères de sélections des puits et sources sont les suivants : la distance qui sépare la latrine du puits ou de la source, le degré d'aménagement, la position topographique, l'accessibilité, le consentement du propriétaire, la pérennité de l'ouvrage. En ce qui concerne les points de prélèvement sur les cours d'eau, ils ont été faits de l'amont vers l'aval. Le cours d'eau a été choisi en fonction des caractéristiques urbanistiques du quartier drainé par le cours d'eau.

### ***Principe de désignation des points de prélèvement***

Le principe de désignation des points de prélèvement obéit à une nomenclature où sont représentés la première lettre du nom du chercheur principal (mon nom), le diminutif du nom du quartier, l'initiale du type de l'ouvrage et le numéro affecté à l'ouvrage. Ainsi, la désignation des points de prélèvement se présente de la manière suivante : la première lettre représente la première lettre de mon nom (M), suivi du diminutif du nom du quartier où se situe l'ouvrage qui peut être représenté par les trois à cinq premières lettres (par exemple pour le quartier Tamdja, le diminutif TAM était retenu). L'initiale du type de l'ouvrage était ensuite inscrite à la suite du diminutif de l'ouvrage. La lettre P était affectée pour le puits et S pour la source. Un numéro est ensuite inscrit à la fin de chaque série aux différents ouvrages afin de les différencier dans le cas où plusieurs sont situés dans le même quartier.

Pour les points de prélèvement des eaux de surface, le principe est le même. Toutefois, c'est le diminutif du nom du cours d'eau (MAGA) ou du nom du quartier drainé (cas de TCHOU pour le quartier Tchouwon) par le cours d'eau où le prélèvement a été effectué suivi de l'indicatif C affecté d'un numéro dans le cas où plusieurs prélèvements sont effectués dans le même quartier sur le même cours d'eau.

## RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

### *APERÇU SUR LES RESSOURCES EN EAU*

#### *Potentiel en eaux superficielles considérable*

Cinq cours d'eau pérenne ont été recensés, mais sont tous en voie de disparition à cause des activités humaines.

#### *Potentiel en eau souterraine considérable:*

Les eaux souterraines dans la ville de Bafoussam sont exploitées à travers les puits et les sources. 19 sources ont été recensées et sont réparties en trois groupes:

- **12 non aménagées**
- **3 sommairement aménagées et**
- **4 aménagées**

1440 Puits ont été recensés dont 70% sont situés dans les quartiers à habitat spontané. Les puits se rencontrent pour la plupart à mi-pente (49,44%) et en bas de pente (29,44%). On les rencontre aussi sur les sommets (11,53%) et dans les marécages (9, 58%).

Ces puits sont généralement très proches des latrines à fond perdu et pour la plupart situés à moins de 15 m des latrines (Tableau 1).

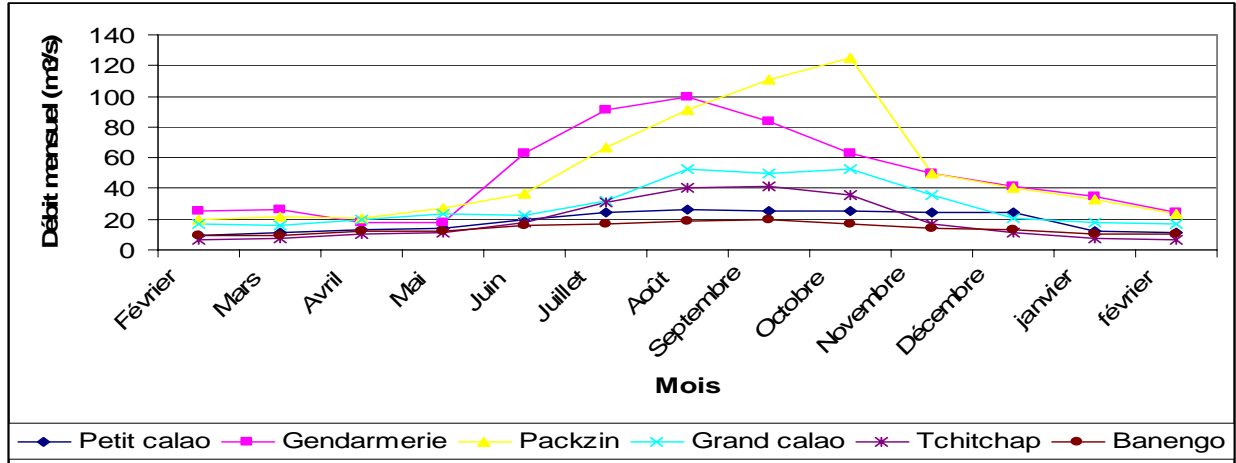
**Tableau 1 : Répartition des puits en fonction de la distance qui les sépare de la latrine la plus proche**

Distance puits latrine	[0 - 3m]	]3 - 5m]	]5 - 10m]	]10 - 15m]	]15 - 30]	>15m	>30m
Nombre de latrines	55	196	523	327	233	339	106
Pourcentage (%)	3,82	13,61	36,32	22,71	16,18	23,54	7,36

### *COMPORTEMENT HYDRODYNAMIQUE DE LA NAPPE*

#### *Les débits de sources*

La figure 2 montre une variation temporelle des débits de sources entre février 2005 et février 2006.



**Figure 2 :** Variations des débits des sources entre février 2005 et février 2006

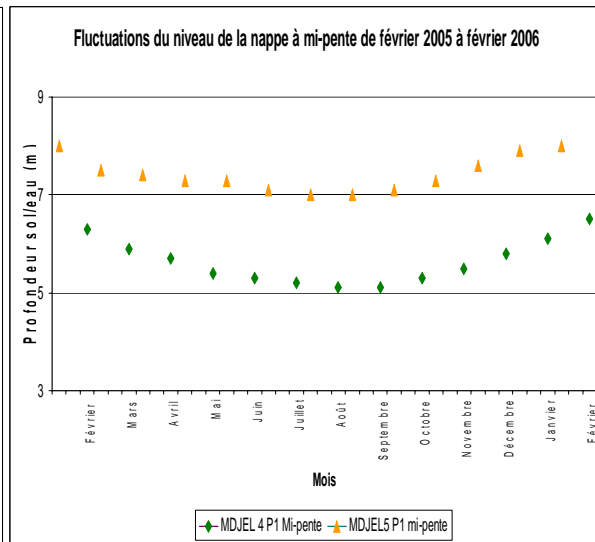
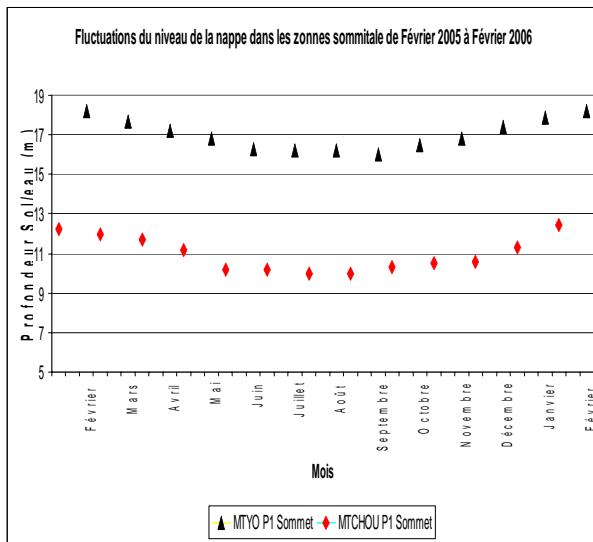
Les courbes de débits présentent une allure unimodale comme celle des précipitations. En effet, les pluies débutent à la mi-mars, mais la réponse au niveau des sources se fait ressentir à partir du mois de juin. Les débits les plus élevés sont enregistrés pendant les mois les plus pluvieux. Les débits des sources varient comme les quantités d'eau tombées. Ce sont donc les pluies qui alimentent les sources.

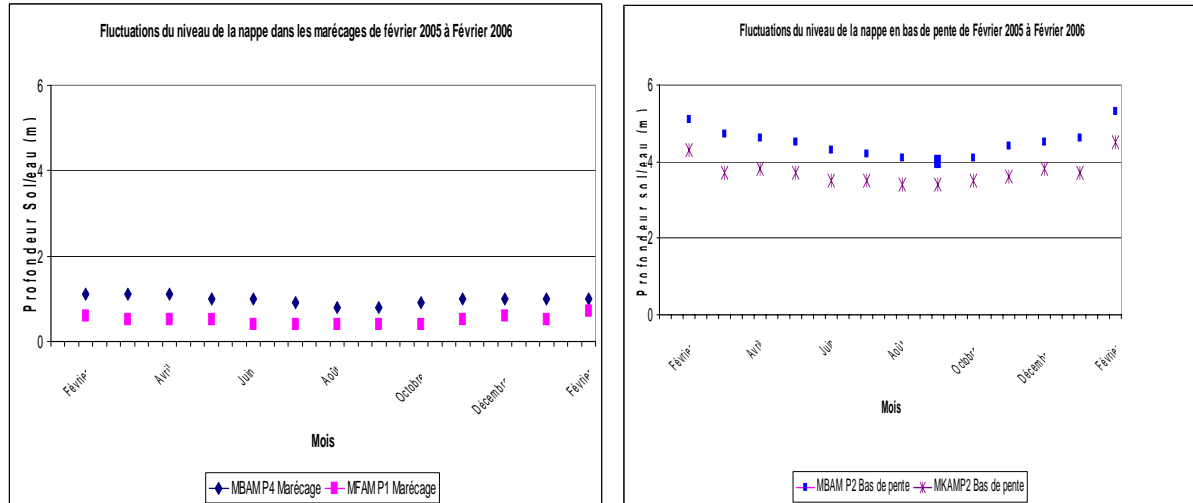
**AMPLITUDES DE BATTEMENT DE LA NAPPE**

Pendant la saison des pluies, la hauteur de l'eau dans les puits augmente considérablement au niveau des sommets et des pentes. Les niveaux piézométriques varient considérablement avec la pluviométrie et la topographie (Figure 3).

**- Au niveau des sommets,**

La profondeur de la nappe varie entre 7,5 et 25 m en saison sèche et entre 5,8 et 24 m en saison des pluies. Les amplitudes de battement du niveau de la nappe sont de 0,5 à 3m.





**Figure 3 :** Fluctuation du niveau de la nappe de février 2005 à février 2006

**- À mi-pente**

La profondeur de la nappe se situe entre 5 et 16,6 m en saison sèche et entre 5 et 15 m en saison des pluies. Les amplitudes de battement du niveau de la nappe sont de 0,5 à 1,5m.

**- Dans les marécages**

Le niveau de la nappe varie entre 0 et 3,3 m en saison sèche et entre 0 et 3 m en saison des pluies. Les amplitudes de battement du niveau de la nappe sont de l'ordre de 0 à 0,5m.

**- En bas de pente**

La nappe se situe entre 0,7 et 7 m pendant la saison sèche et entre 0,4 et 6 m pendant la saison de pluies. Les amplitudes de battement du niveau de la nappe sont de 0 à 1m en bas de pente.

***CARACTÉRISATION PHYSICO-CHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DANS LA VILLE DE BAFOUSSAM***

La qualité des eaux dans notre étude est évaluée par rapport aux normes de potabilité exigées par l'OMS. Les sites de prélèvement des points d'eau de la ville de Bafoussam sont localisés sur la figure 4 ; leurs caractéristiques sont récapitulées dans le tableau 2 et le tableau 3.

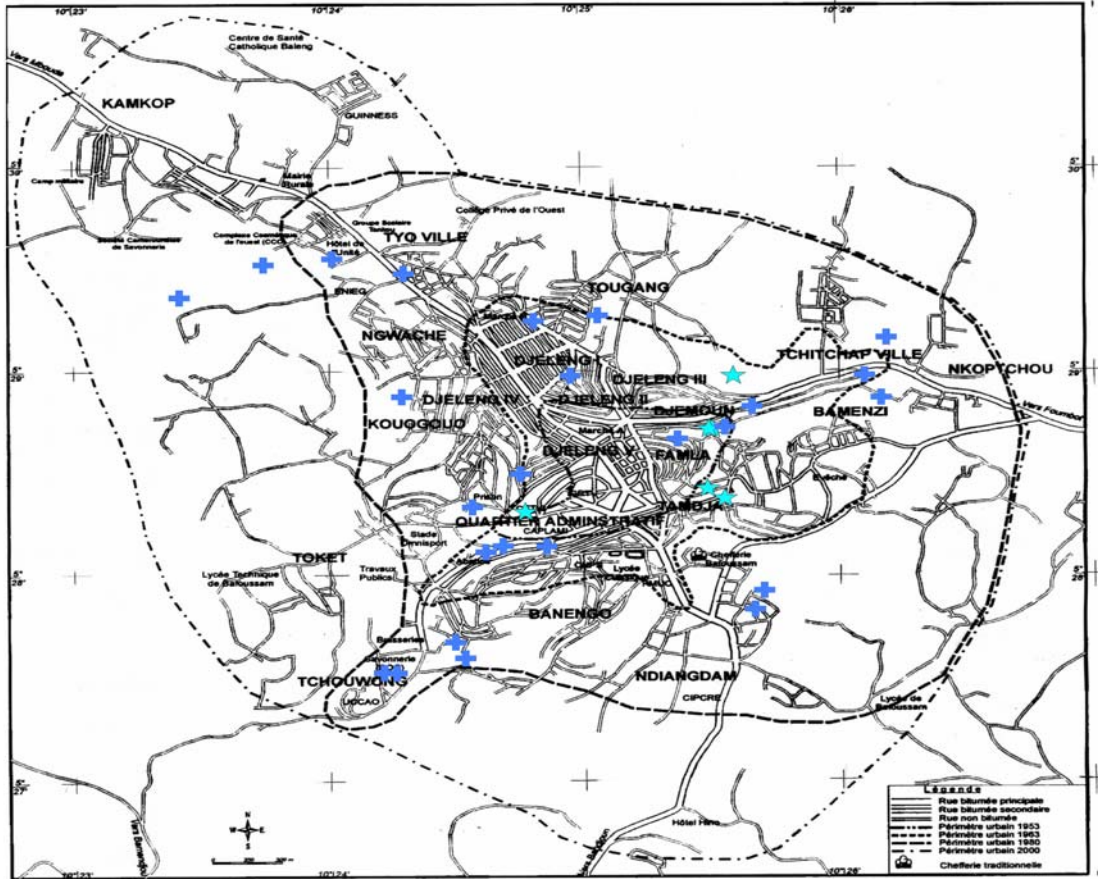


Figure 4 : Répartition géographique des points de prélèvement des eaux de puits et de sources dans la ville de Bafoussam

Tableau 2 : Caractéristiques de localisation et d'aménagement des puits sélectionnés

Distance puits à la latrine la plus proche	Puits sélectionnés			
	Bas de pente	Marécage	Mi-pente	Sommet
<3m	*MKAM P1 *** <u>MBAN P2</u> *MTOUVG P1	*MBAN P3	**MDJEL5 P1 ; **MBAN P1 ;	***MTCHOU P1 ; *MTOUVL P1 ;
[3 -5 m [	***MDJEM P1 ;	**MBAM P4 ; *MFAM P1 ;		**MKOP P1 ;
[5-10 m [	** <u>MBAM P1</u> ;		** <u>MDJEL4 P1</u>	***MTYO P1 ;
[10-15 m [	***MBAM P2 ; *** <u>MKAM P2</u> ;	*MDJEL2 P1 ;		
> 15m	* <u>MDJEM P2</u> ; ***MTAM P1 ;	*** <u>MBAN P4</u> ;		
>30m	**MKOUO P1 ;		***MBAM P3 ;	**MTCHOU P2 ; *MKOUO P6

\* puits non aménagés, \*\* puits semi-aménagés, \*\*\* puits aménagés

**Tableau 3 : Caractéristiques de localisation et d'aménagement des sources sélectionnées**

Sources sélectionnées	Code des sources	Type d'aménagement
Petit Calao	MCALAO SP	Non aménagé (NA)
Gendarmerie	MFAM S	Non aménagé (NA)
Packzin	MPACKZIN S	Semi-aménagé (SA)
Grand Calao	MCALAO SG	Semi-aménagé (SA)
Tchitchap	MTCHI S	Aménagé (A)
Banengo	MBAN S	Aménagé (A)

Les eaux souterraines ont présenté de bonnes caractéristiques pour ce qui concerne les teneurs en calcium, en magnésium, en chlorures et en fer. Ces eaux souterraines ont une minéralisation faible à moyenne en référence à la classification faite par Rodier (1978). En saison des pluies, les valeurs de la conductivité dans les eaux de puits sont comprises entre 51,1  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le minimum et 841,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  pour le maximum. Pour la saison sèche, la valeur minimale est de 36,0  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  et la valeur maximale est de 870,7  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Les écarts de conductivités seraient le résultat du lessivage des sols et la remobilisation des sels accumulés dans les sédiments qui se font à des degrés suivant la pente du site d'une part, et d'autre part le résultat d'un assainissement défectueux. Dans les eaux de sources, les conductivités varient entre 86,6 et 317,4  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en saison humide et entre 64,2 et 336,3 en saison sèche. Les pH sont acides. Les pH des eaux des puits varient entre 5,09 et 6,76 pendant la saison des pluies, et entre 5,08 et 6,92 pendant la saison sèche. Quant aux eaux de sources, les valeurs de pH sont comprises entre 5,34 et 5,73 pendant la saison des pluies et entre 5,15 et 5,61 pendant la saison sèche. Les écarts entre les extrêmes sont élevés à cause de la contamination des eaux par les effluents des sociétés de savonnerie dont le pH >9.

Par contre, elles ont présenté des concentrations excessives en nitrates et en ammonium par rapport aux normes de potabilité exigées par l'OMS.

#### ***L'AMMONIUM ET LES NITRATES DANS LES EAUX DE PUIITS ET DE SOURCES***

La concentration maximale recommandée pour l'ammonium par l'OMS est de 0,5 mg/l. et de 50 mg/l pour les concentrations en nitrates. Les figures 5 et 6 montrent respectivement la répartition des concentrations en ammonium dans les eaux de puits et de sources.

30% des eaux de puits analysées en saison humide et 15% en saison sèche présentent de fortes concentrations en ammonium. De même, 16,6% des sources en saison humide et 17,3% en saison sèche ont de fortes concentrations en ammonium. Dans les eaux de sources, les concentrations varient entre 0 et 0,7mg/l pendant la saison des pluies et entre 0 et 0,5 mg/l pendant la sèche. Dans les eaux de puits, les concentrations sont plus élevées et oscillent entre 0 et 36,5 mg/l pendant la saison des pluies et entre 0 et 15,6 mg/l pendant la saison sèche. Ces fortes concentrations en ammonium ont été observées dans les puits ayant de fortes valeurs de pH (> 6). Les concentrations en ammonium varient énormément d'un puits à un autre avec des pics observés généralement pendant la saison sèche. Certains puits présentent des pollutions en ammonium uniquement pendant la saison sèche. Ceci pourrait être le résultat de la baisse du niveau de la nappe conduisant à des concentrations élevées en ammonium. Une source non aménagée a présenté des concentrations élevées en ammonium.



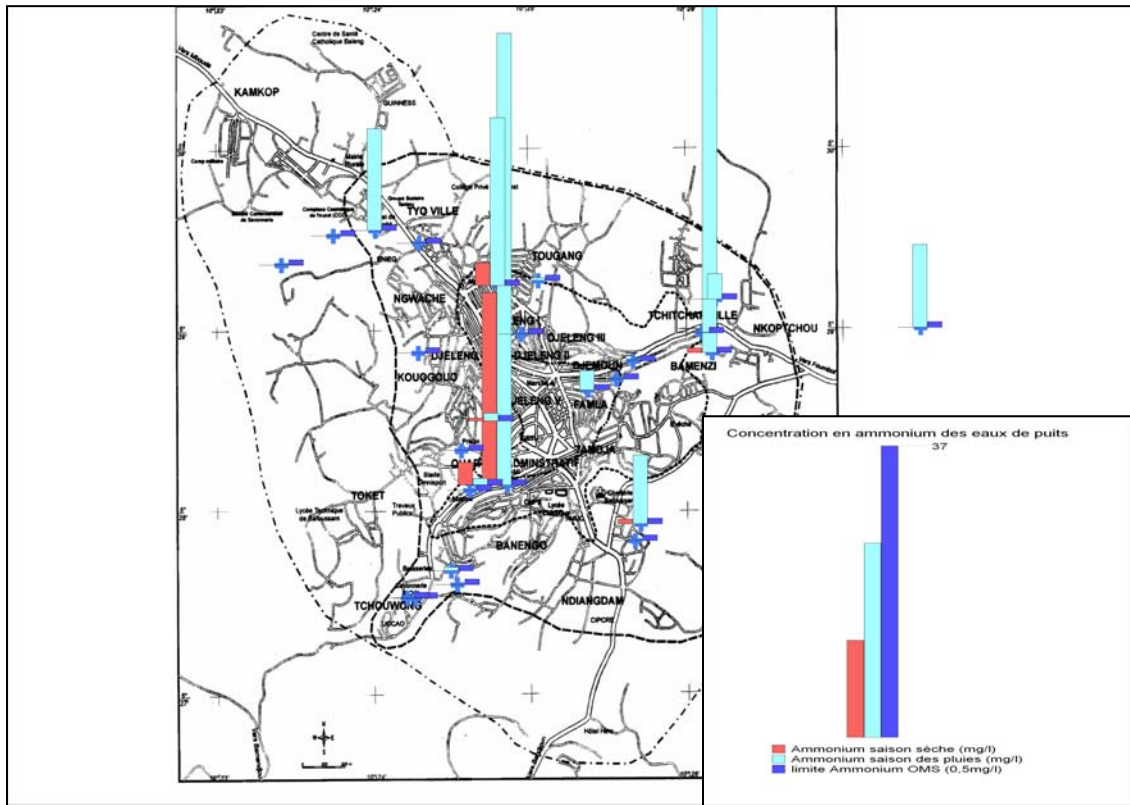


Figure 5 : Variations des concentrations en ammonium dans les eaux de puits en fonction des saisons

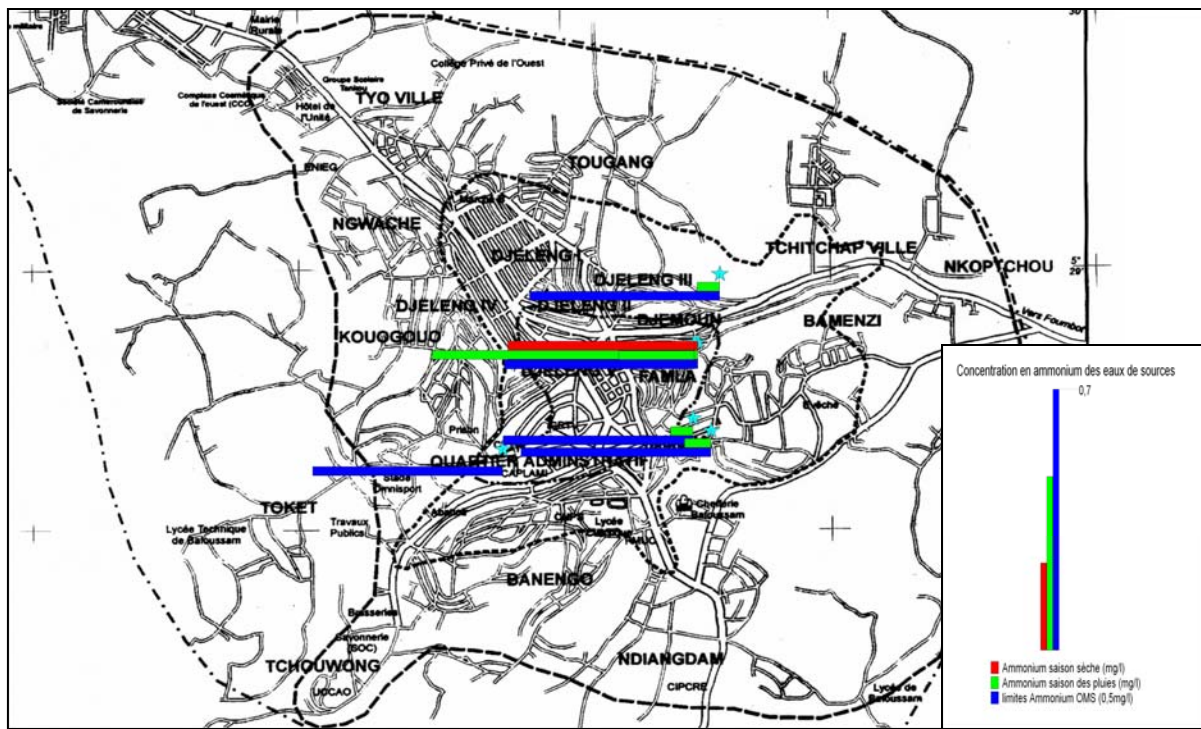


Figure 6 : Variations des concentrations en ammonium dans les eaux de sources en fonction des saisons

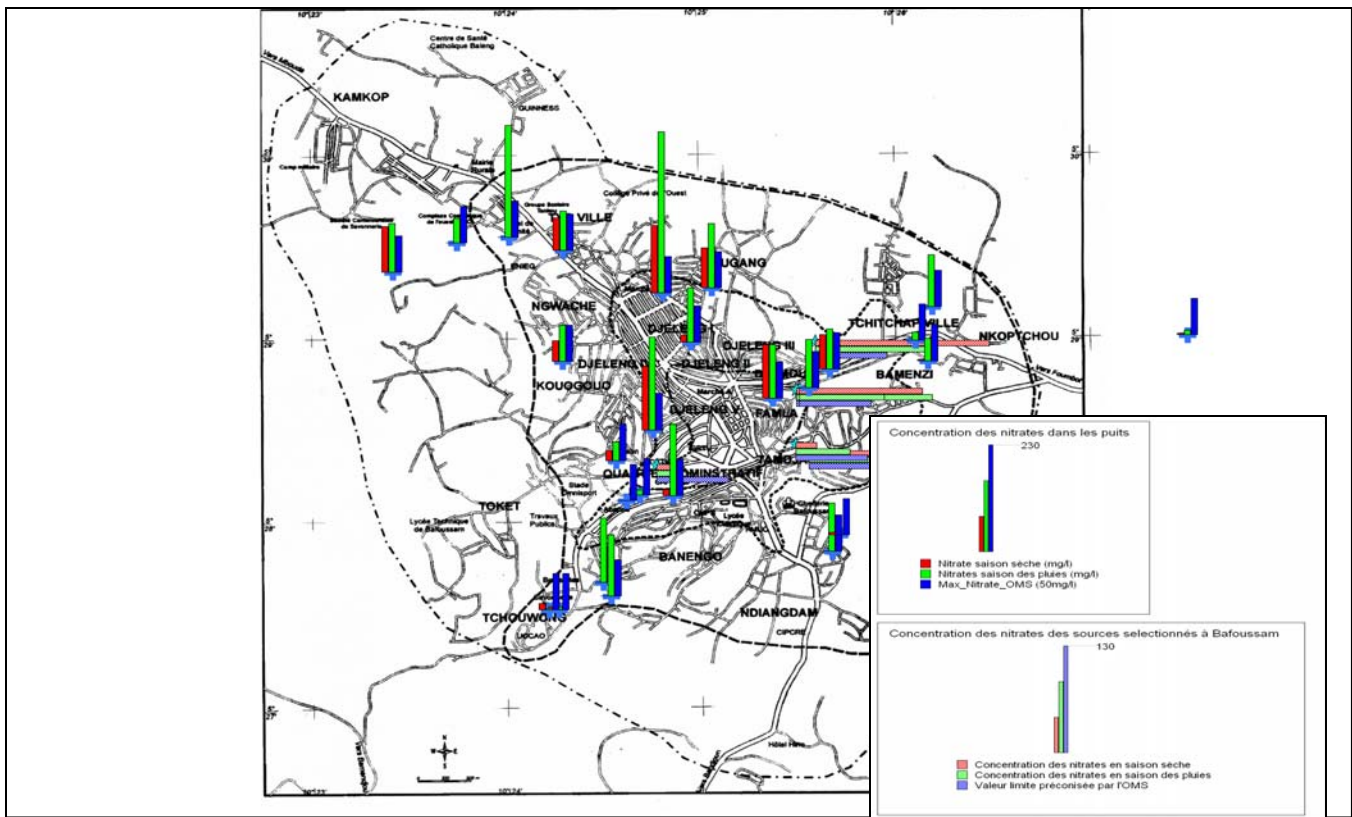
Les eaux de puits et de sources sont très polluées par les nitrates (Figure 7).

- 58% des eaux de puits et 50% des eaux de sources pendant la saison humide, 33,3% des eaux de puits et 66,6% des eaux de sources pendant la saison sèche présentent de fortes concentrations en nitrates. La concentration maximale enregistrée dans les eaux de puits est de 220,9mg/l pendant la saison humide et de 92,9mg/l pendant la saison sèche. En ce qui concerne les sources, les concentrations maximales enregistrées sont de 94,3mg/l pendant la saison humide et de 120,8mg/l pendant la saison sèche. Les eaux des sources sont plus concentrées en nitrates pendant la saison sèche. 22,8% des eaux de puits et 33% des eaux de sources dans la ville de Bafoussam ont des concentrations en nitrates légèrement inférieures à la valeur guide qui est de 50 mg/l.

Certains puits présentent une contamination des eaux en ammonium et en nitrates uniquement pendant la saison des pluies. Ceci pourrait être le résultat des fluctuations du niveau de la nappe et du sens d'écoulement des eaux souterraines.

Des puits situés à proximité des cours d'eau (drainant les effluents et les eaux usées et excréta) présentent plutôt une concentration élevée pendant la saison sèche, et une concentration quasi-nulle pendant la saison des pluies. Ceci est vraisemblablement le résultat de l'intercommunication nappe-cours d'eau.

Les puits et les sources présentant des concentrations élevées en nitrates et en ammonium sont généralement très proches des latrines, des fosses septiques, des rivières et des décharges sauvages.



**Figure 7 :** Distribution géographique des concentrations en nitrate dans les eaux de puits et de sources dans la ville de Bafoussam

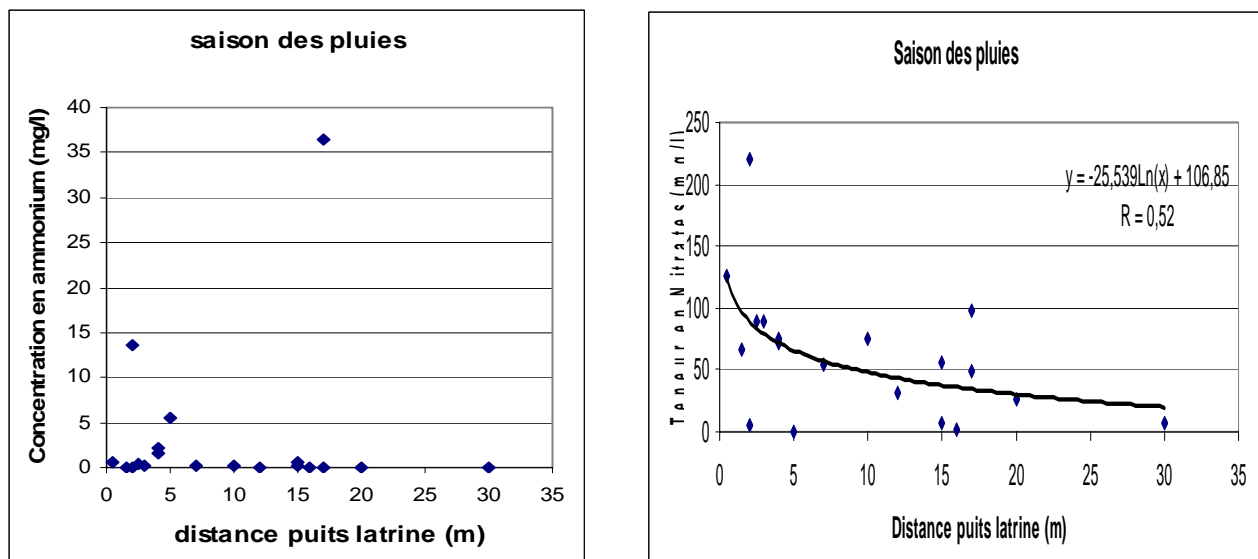
### **FACTEURS INFLUENÇANT LA TENEUR EN NITRATES ET EN AMMONIUM DANS LES EAUX DE PUIITS**

Ce sont les teneurs en ammonium et en nitrates qui remettent en cause la qualité chimique des eaux souterraines à Bafoussam. Cependant, on note une grande variabilité des résultats suivant les saisons. Certaines eaux de puits polluées par les nitrates et l'ammonium pendant la saison des pluies n'ont présenté aucune trace de pollution pendant la saison sèche et inversement. De même, quelques échantillons d'eau des puits et sources n'ont présenté aucune pollution chimique, pourtant on note dans leurs environnements immédiats des sources de pollution (latrines). Ce qui pourrait s'expliquer par l'influence de plusieurs facteurs contrôlant la qualité des eaux souterraines dans la ville de Bafoussam.

Ces facteurs seront discutés séparément pour les eaux de puits et de sources. En effet, en ce qui concerne les puits et les sources, ce ne sont pas forcément les mêmes paramètres qui ont été pris en considération. Les puits ont été classés en tenant compte de la distance qui les sépare des latrines, de leur degré d'aménagement, du nombre de latrines dans leur voisinage immédiat, de l'existence d'autres sources de pollution près du puits et de leur position topographique. Par contre, les sources ont été classées en tenant compte du type d'aménagement uniquement. Les facteurs influençant la pollution des eaux de puits et de sources seront donc étudiés en tenant compte de ces paramètres principalement.

### **RELATION AVEC LA DISTANCE QUI SÉPARE LE PUIITS ET LA LATRINE LA PLUS PROCHE**

Ces figures ci-dessous montrent que les concentrations diminuent avec la distance qui sépare le puits de la latrine la plus proche.



**Figure 8 :** Concentration en ammonium, en nitrates en fonction de la distance à la latrine la plus proche

Des puits situés à moins de 15m de la latrine ont présenté de fortes concentrations en ammonium et en nitrates. Cependant, quelques puits situés à plus de 15 m ont présenté également des teneurs élevées en nitrates et ou en ammonium. Il s'agit dans ce cas des puits situés près des fosses septiques mal construites ou des rivières polluées. Ces fosses septiques construites sans tenir compte des règles de l'art joueraient donc le même rôle qu'une latrine. On peut noter aussi que d'autres puits situés très proche (moins de 5 m) des latrines sont non pollués. Ces puits sont situés plus haut que les latrines. Les puits situés en contrebas des latrines sont donc plus vulnérables que ceux se trouvant en amont. Ce qui laisse croire que d'autres

paramètres en dehors de la distance influenceraient la pollution des eaux de puits. On peut penser au sens d'écoulement des eaux dans le sol et la position de la source de pollution.

#### ***RELATION ENTRE LES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM, EN NITRATES ET LA POSITION TOPOGRAPHIQUE DU PUIIS***

Il n'existe pas de relation. Les fortes concentrations en ammonium et en nitrates ont été notées aussi bien dans les eaux de puits situés en bas de pente qu'au sommet de pente.

#### ***RELATION ENTRE LES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM, EN NITRATES ET LE DEGRÉ D'AMÉNAGEMENT DU PUIIS***

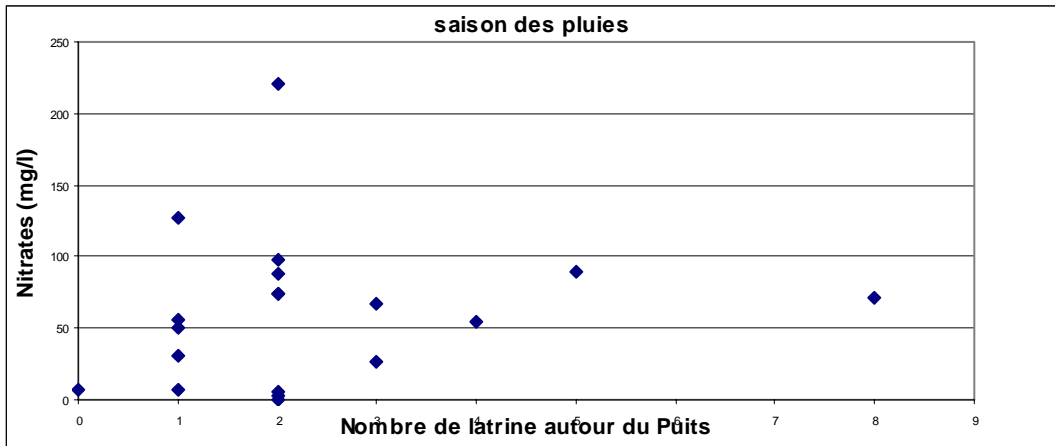
La relation est significative surtout en saison des pluies. En effet, tous les puits non aménagés présentent une pollution azotée pendant la saison des pluies ; de même que la moitié des puits semi aménagés. Le type d'aménagement du puits joue un rôle non négligeable dans la qualité des eaux.

Les puits pour lesquels on note des concentrations élevées en ammonium sont constitués à 67% par des puits non aménagés ou semi-aménagés, et à 33% par des puits aménagés. Toutefois, des puits présentant les mêmes degrés d'aménagement ont des comportements différents. Certains puits présentant les mêmes degrés d'aménagement ont des comportements différents. Le puits MKOUO P6 a des teneurs en ammoniums quasi-nulles, alors que le puits MTOUVL P1 a des teneurs en ammonium élevées ; cependant, ces deux puits sont non aménagés. Le même constat est fait pour le puits MBAN P4 qui a une teneur faible en ammonium alors que MTAM P1 a une teneur forte, bien qu'ils soient aménagés tous les deux. Ceci pourrait s'expliquer par deux facteurs : Le puits MTOUVL P1 est situé à 3m d'une latrine à fond perdu et à la même altitude que cette dernière, contrairement au puits MKOUO P6 qui, bien que situé à la même altitude d'une latrine à fond perdu, se trouve plutôt à 17 m de cette dernière.

En saison sèche, pour ce qui concerne les concentrations en nitrates, certains puits non aménagés (33%) et la majorité des puits semi-aménagés (seule exception : MDJEL5 P1) sont en-dessous du seuil de pollution fixé par l'OMS. Par contre, tous les puits aménagés présentent des teneurs inférieures à 50 mg/l, même si certains d'entre eux (MDJEM P1 et MTYO P1) sont proches de cette valeur limite et nécessitent donc un contrôle. Le puits aménagé MTAM P1, dont les eaux s'avèrent potables en saison sèche, a des teneurs proches de 100 mg/l en saison humide. Le niveau de la nappe augmente pendant la saison des pluies et contribue ainsi à rincer les parois des latrines ou encore favorise une intercommunication entre le puits et la latrine.

#### ***RELATION ENTRE LES CONCENTRATIONS EN AMMONIUM, EN NITRATES ET NOMBRE DE LATRINES AUTOUR DU PUIIS***

Les concentrations évoluent indépendamment du nombre des latrines autour du puits (figure 9). Des puits proches d'une latrine ont présenté des concentrations en ammoniums ou en nitrates plus élevés que des puits entourés de 8 latrines. Pareillement, des puits situés près d'un même nombre de latrines ont présenté des comportements différents. Les latrines dans ce cas sont situées à des positions différentes des puits.



**Figure 9 :** Concentration en nitrates dans les puits en fonction du nombre de latrines qui les entourent

En conclusion, la pollution des eaux par l’ammonium et par les nitrates dépendrait beaucoup plus des facteurs hydrodynamiques (écoulements souterrains et fluctuations du niveau de la nappe) d’une part et des distances à la latrine la plus proche d’autre part, que des paramètres liés à l’aménagement de l’ouvrage ou à sa position topographique. En effet, la pollution des eaux de puits par l’ammonium et par les nitrates apparaît être beaucoup conditionnée par la position de la source de pollution par rapport au puits et les fluctuations des niveaux piézométriques.

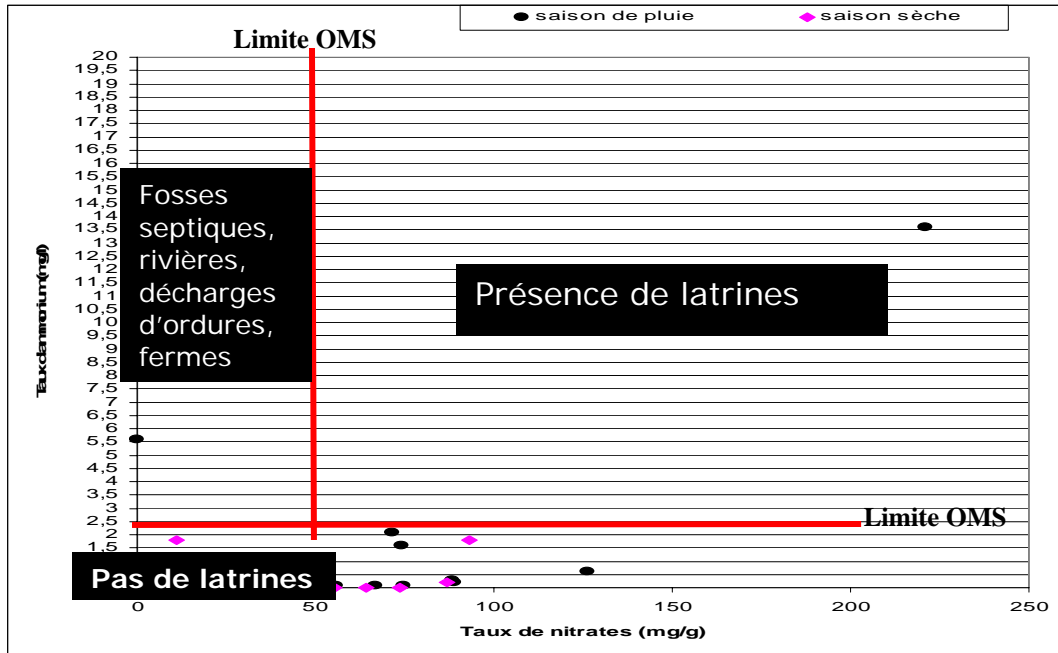
***FACTEURS INFLUENÇANT LA CONCENTRATION EN AMMONIUM ET EN NITRATES DES EAUX DE SOURCES***

Pour ce qui concerne les concentrations en ammonium, le degré d’aménagement, la position topographique et la distance à la latrine sont les facteurs qui conditionnent la qualité des eaux de sources. C’est dans une source non aménagée et située en bas de pente que la pollution par l’ammonium a été notée. Les autres sources aménagées ou situées loin des latrines n’ont présenté aucune pollution.

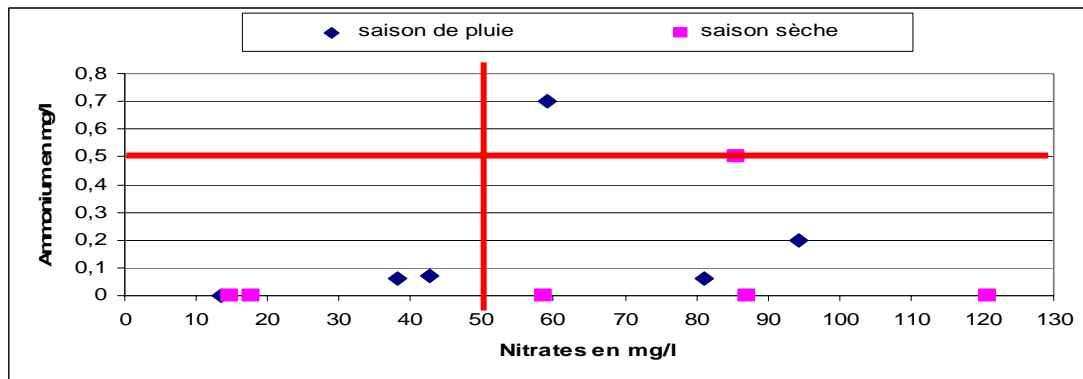
On ne note pas de relation entre les facteurs de pollution des eaux et les teneurs en nitrates des eaux de sources. Deux sources (packzin et banengo) de degrés d’aménagement différents, ont présenté de bonnes qualités chimiques en ce qui concerne les nitrates. Pourtant, l’une est située à 15m en contrebas d’une latrine tandis que l’autre n’a aucune latrine dans ses environs.

***RELATION NITRATES ET AMMONIUMS DANS LES EAUX DE PUIXS : SOURCES DE CONTAMINATION DES EAUX SOUTERRAINES***

L’identification des sources de contamination est une étape importante pour la maîtrise des eaux souterraines. Dans la ville de Bafoussam, ce sont les teneurs excessives en nitrates et en ammonium qui remettent en cause la qualité chimique des eaux souterraines.



**Figure 10 :** Variation des teneurs d’ammonium et des nitrates des puits



**Figure 11 :** Variation des teneurs en ammonium en fonction des teneurs en nitrates des eaux de sources

On remarque qu’il n’existe guère de relation entre les concentrations en ammonium et en nitrates des eaux souterraines dans la ville de Bafoussam (figure 10) si on considère l’ensemble des puits. L’observation minutieuse de la figure 10 fait ressortir quatre groupes de puits : Un premier groupe avec les teneurs en nitrates faibles et les teneurs en ammonium élevées ; un deuxième groupe avec les teneurs en nitrates et en ammonium élevées, le troisième groupe avec les teneurs en nitrates élevées et les teneurs en ammonium faibles et enfin le dernier groupe avec des teneurs en ammonium et en nitrates faibles.

Le premier groupe est caractérisé d’une manière générale par des puits situés soit très proche des fosses septiques et/ ou soit d’une rivière drainant les eaux usées et eaux vannes, soit à proximité d’une décharge d’ordures.

Le deuxième groupe est caractérisé par des puits situés très proche des latrines de même pour le troisième groupe.

Le quatrième groupe est formé par des puits n'ayant pas de latrine dans leur environnement immédiat.

Dans le cas des sources, seuls les second, troisième et quatrième groupes ont été identifiés (figure 11). Il n'y a pas de sources à teneurs en nitrates faibles et en ammonium élevées. Les sources présentant de fortes teneurs en nitrates et/ou en ammonium sont caractérisées par la présence des latrines dans un rayon de moins de 30m, des tas d'ordures sauvages et situés dans l'ensemble en bas de pente dans les zones d'habitat spontané.

Fort de ces constatations, on peut déduire que la présence des nitrates et de l'ammonium dans les eaux de puits et de sources dans la ville de Bafoussam est essentiellement d'origine domestique. En effet, l'absence et l'insuffisance d'assainissement sont les principales causes de contamination de la nappe phréatique par ces substances.

Les teneurs élevées en ammonium et en nitrates proviendraient donc des déchets organiques issus des latrines à fond perdu, des fosses septiques mal construites, des cours d'eau (rivières) résiduaires et des dépôts sauvages d'ordures. Ces observations sont caractéristiques des grandes villes dans les pays en voie de développement où les fortes teneurs en nitrates ont été observées dans les eaux souterraines (Hassoune et *al.*, 2006 ; Tandia, 2000 ; Yaméogo et Savadogo, 2002 ; Chippaux et *al.*, 2002). Ces auteurs dans leurs études ont montré que ces pollutions provenaient du mauvais assainissement.

## ***QUALIFICATION BACTÉRIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES***

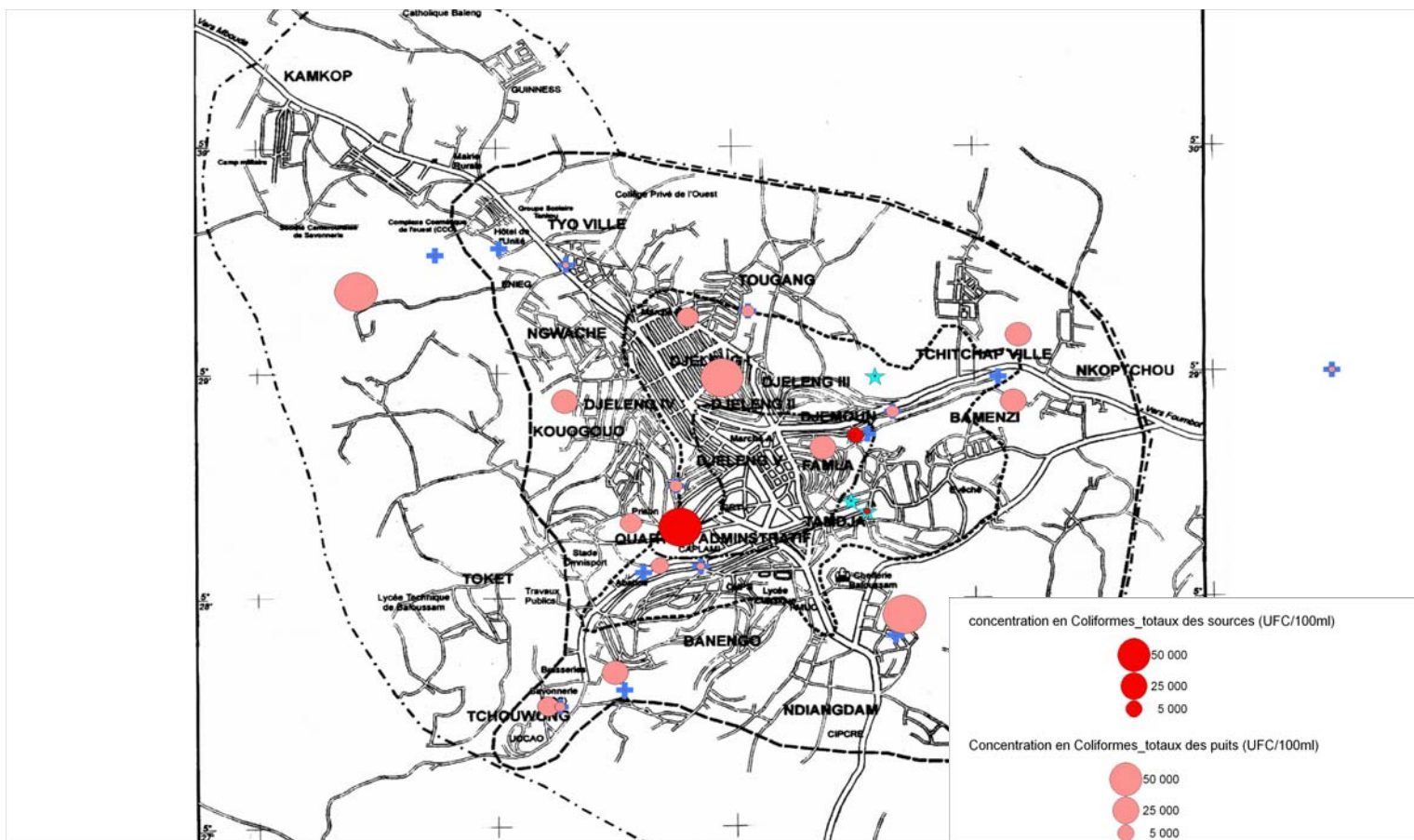
### ***Mode de caractérisation bactériologique***

Les analyses ont été faites sur les prélèvements de deux campagnes, l'une en saison des pluies (octobre 2005) et l'autre en saison sèche (début mars 2006). Pendant la saison des pluies, les analyses ont porté uniquement sur la recherche des germes indicateurs de la pollution fécale (coliformes totaux ; coliformes thermotolérants, streptocoques fécaux). En saison sèche, les analyses ont été plus approfondies et ont porté en plus sur la recherche et le dénombrement des germes pathogènes tels que *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Shigella*, *Vibrio cholerae* et d'autres bactéries indicatrices de la contamination fécale.

### ***Coliformes totaux***

L'analyse des eaux souterraines révèle la présence à des concentrations élevées des coliformes totaux dans les eaux de puits et de sources, comme le montre la figure 12. On constate que, en saison des pluies, les eaux de 24 puits sur les 25 échantillonnés sont contaminées. Les concentrations sont partout supérieures à 10 UFC/100 ml d'eau, sauf au puits MBAM P3.

De même, toutes les eaux de sources analysées en saison sèche présentent une pollution par les coliformes totaux, exceptée la source de MPACKZIN S (source de Packzin) d'une bonne qualité bactériologique (concentration en coliformes inférieure à 1 UFC/100ml d'eau). À part cette exception, les concentrations sont largement au-dessus du seuil de potabilité recommandé ; en effet, les critères microbiologiques exigent que les concentrations en coliformes totaux dans les eaux de consommation soient inférieures à 1 UFC/100ml d'eau. Pour la saison sèche, les dénombrements effectués sur ces mêmes puits et sources montrent des concentrations toujours comprises entre 30 et 50 000 UFC/100ml d'eau, sauf la source de Packzin.

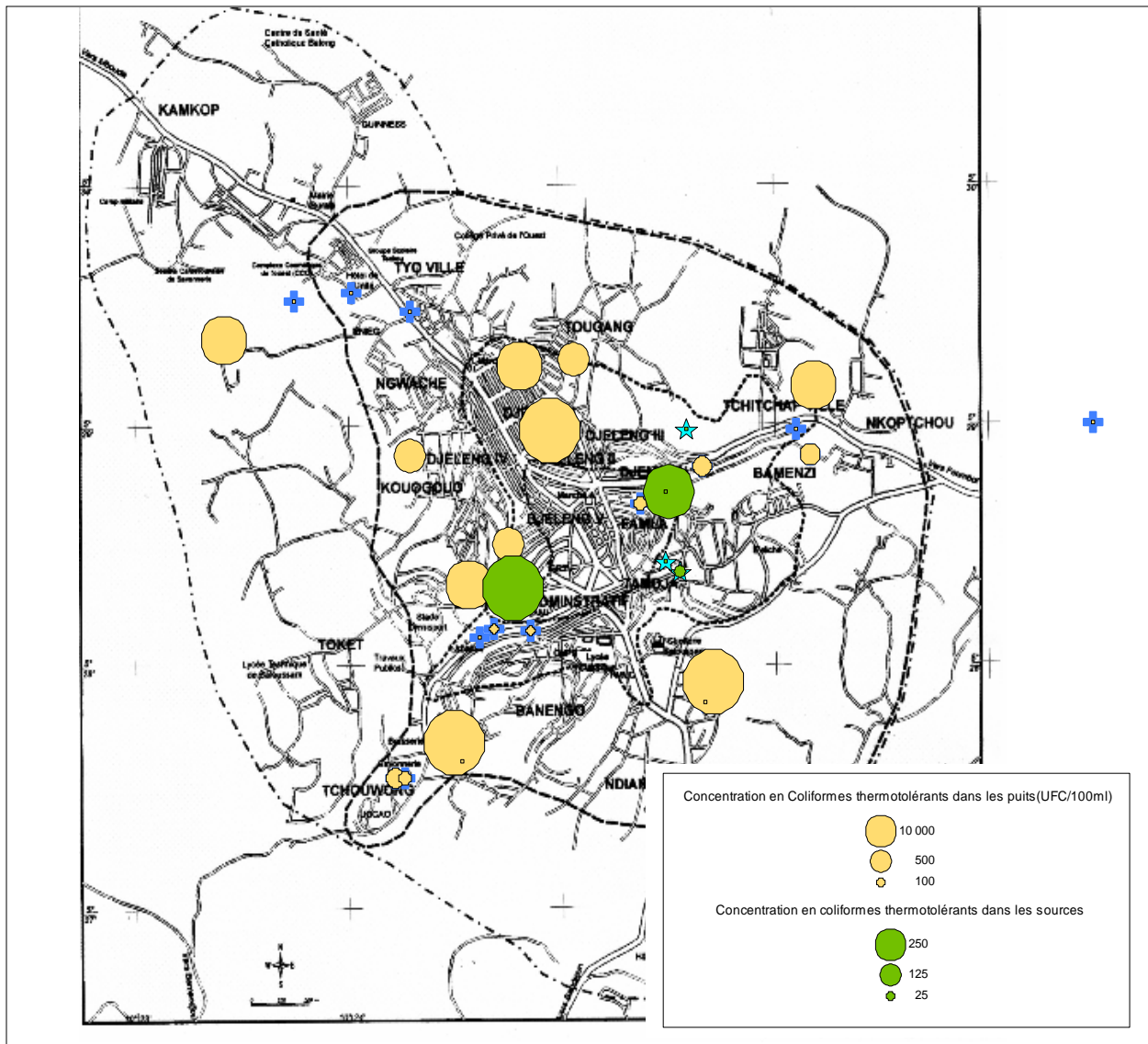


**Figure 12** : Répartition géographique des concentrations en coliformes totaux dans les eaux de puits et de sources en saison sèche

### *Coliformes thermotolérants*

Les résultats d'analyses montrent que pendant la saison sèche, 95% des puits et 83% des sources présentent une forte concentration des coliformes thermotolérants dans les eaux. Au cours de la saison humide, 100% des puits et 66,7 % des sources sont pollués par les coliformes thermotolérants. Les concentrations sont plus élevées dans les eaux de puits que dans celles des sources. Ces concentrations atteignent 10 000 UFC/100ml dans les eaux de puits et 500 UFC/100ml dans les eaux de sources. Seule la source de Packzin (MPACKZIN S) présente de bonne qualité bactériologique. La figure 13 montre une répartition géographique des coliformes thermotolérants dans les eaux de puits et de sources.





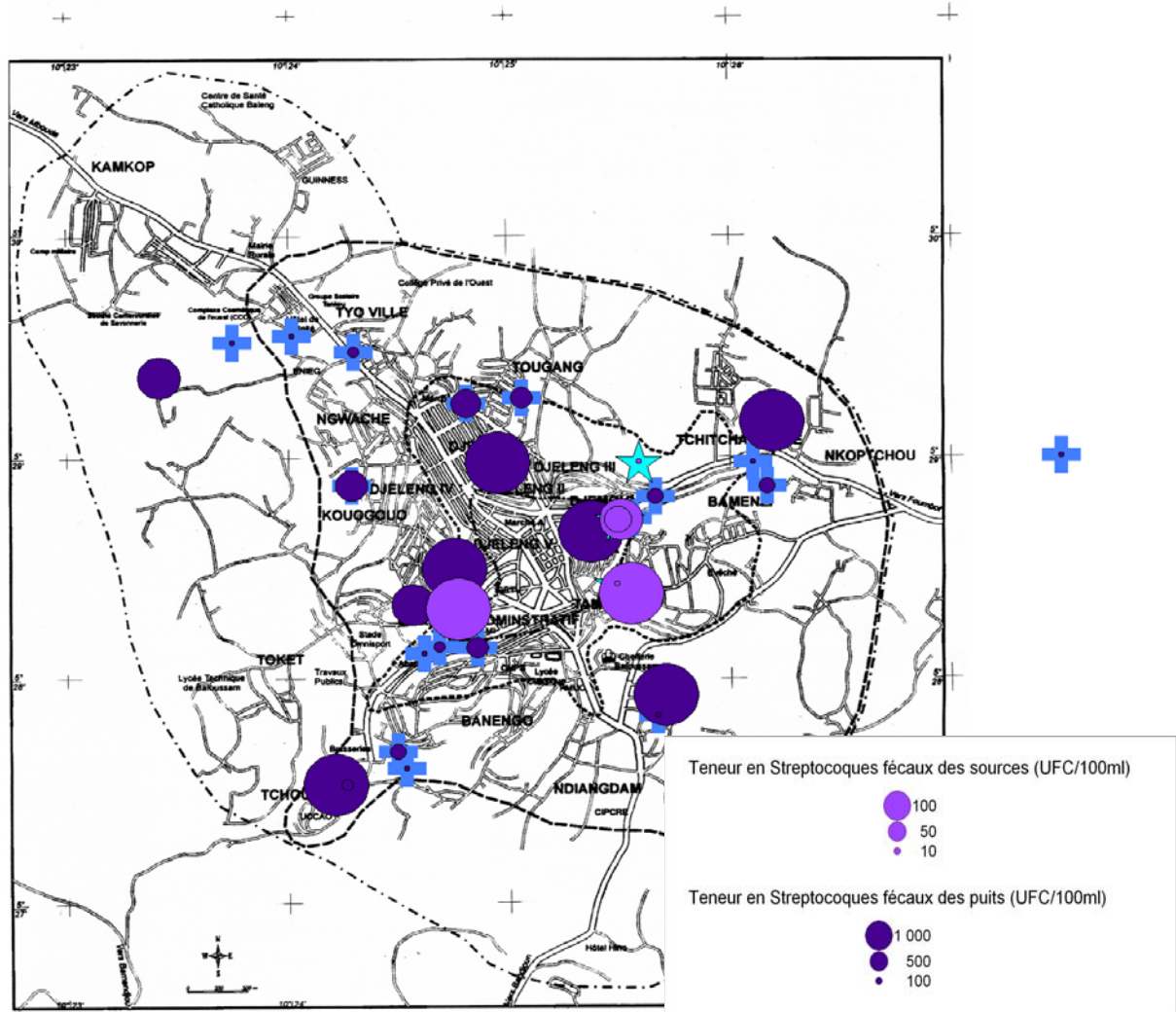
**Figure 13 :** Répartition géographique des concentrations en coliformes thermotolérants dans les eaux de puits et de sources en saison sèche

### *Streptocoques fécaux*

Les analyses bactériologiques effectuées sur les échantillons d’eaux de puits et de sources montrent des taux élevés de streptocoques fécaux, comme on le voit sur la figure 14. Seulement 2 puits sur les 25 analysés pendant la saison humide présentent des critères microbiologiques acceptables en ce qui concerne les streptocoques fécaux. Il s’agit des échantillons MTCHOU P1 et MTCHOU P2 pour lesquelles les concentrations sont inférieures à 1UFC/100ml. Par contre, pendant la saison sèche 100% des eaux de puits présentent des concentrations élevées de streptocoques fécaux. Le dénombrement effectué sur ces échantillons montre des valeurs qui varient entre 40UFC/100ml et 1000 UFC/100ml. D’après l’OMS l’eau ne doit pas contenir de germes. En ce qui concerne les streptocoques fécaux, les eaux de puits sont impropres à la consommation humaine dans la ville de Bafoussam.

Quant aux sources, seule une source sur les six analysées pendant la saison des pluies présente des caractéristiques microbiologiques acceptables (concentrations < 1 UFC/100 ml). En saison sèche, ce sont

3 sources sur 6 qui répondent aux normes de potabilité pour les streptocoques fécaux. Ceci s'explique par le fait que, pendant la saison des pluies, les eaux sont plus diluées. Le dénombrement effectué sur ces eaux pendant la saison sèche montre des concentrations en streptocoques fécaux qui varient entre 20 et 100 UFC/100ml. Les eaux de sources sont également impropres à la consommation dans la ville de Bafoussam, à part la source de Packzin (MPACKZIN S) dont les concentrations en streptocoques fécaux ne varient pas quelle que soit la saison, et répondent en toutes saisons aux critères microbiologiques.



**Figure 14 :** Répartition géographique des streptocoques fécaux dans les eaux de puits et de sources

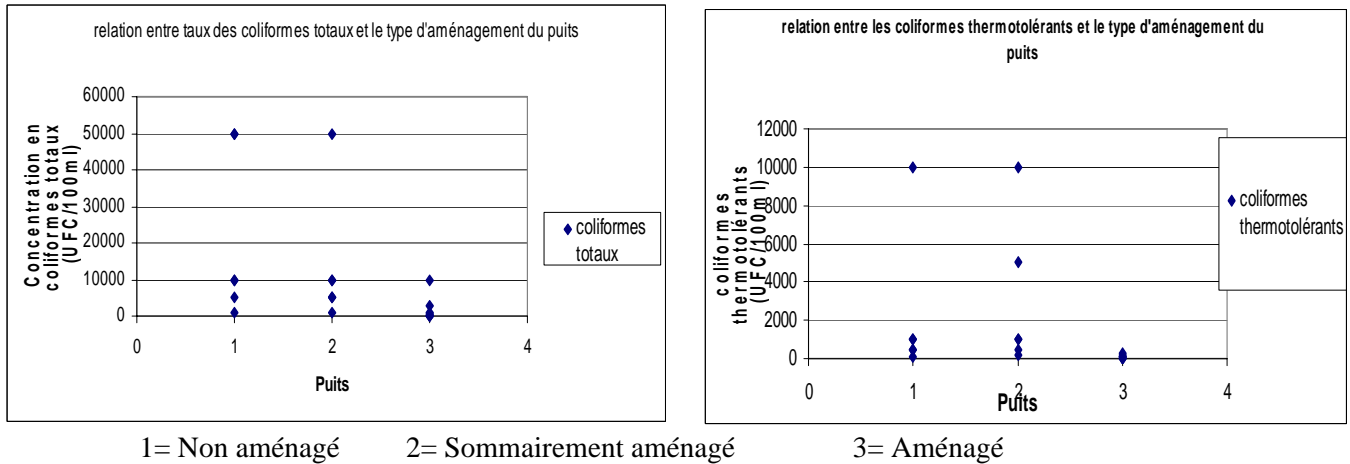
### Germes pathogènes identifiés

De nombreux germes pathogènes ont été identifiés dans les eaux souterraines (puits et sources) de la ville de Bafoussam. Il s'agit des germes tels que *Escherichia coli*, *Klebsiella*, *Pneumoniae*, *Proteus vulgaris*, *Salmonella sp*, *Pseudomonas sp*, *Enterobacter*, *Serratia*, *Shigella sp*, *Ancinetobacter*, *Citrobacter* et *Cloacae*. Les bactéries *Shigella* ont été observées dans les eaux de 3 puits prélevées en saison sèche. Les salmonelles ont été observées dans un seul puits (MTCHOU P<sub>1</sub>) et dans une seule source (MCALAO SP, type non aménagé). Seule la source de Packzin (MPACKZIN S), qui est sommairement aménagée n'a présenté aucune trace de germes pathogènes dans ses eaux. Aucune latrine n'a été observée dans ses environs.

## FACTEURS DE POLLUTION BACTÉRIOLOGIQUE DES EAUX SOUTERRAINES

### Relation avec le type d'aménagement des puits

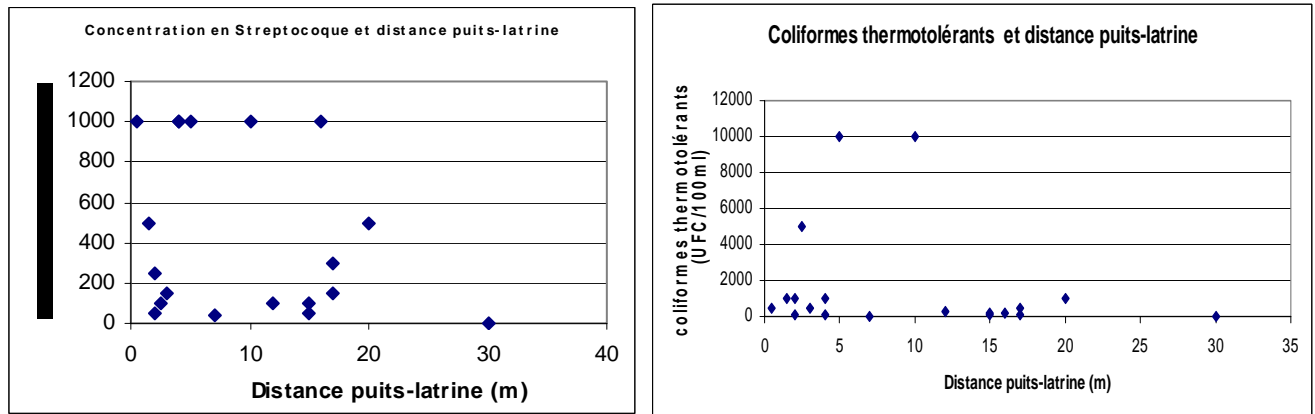
Elle est significative. Ces figures 15 montrent que les puits aménagés sont les moins pollués.



**Figure 15 :** Relation entre les germes fécaux et le type d'aménagement des puits

### Relation entre pollution bactériologique et distance puits-latrine

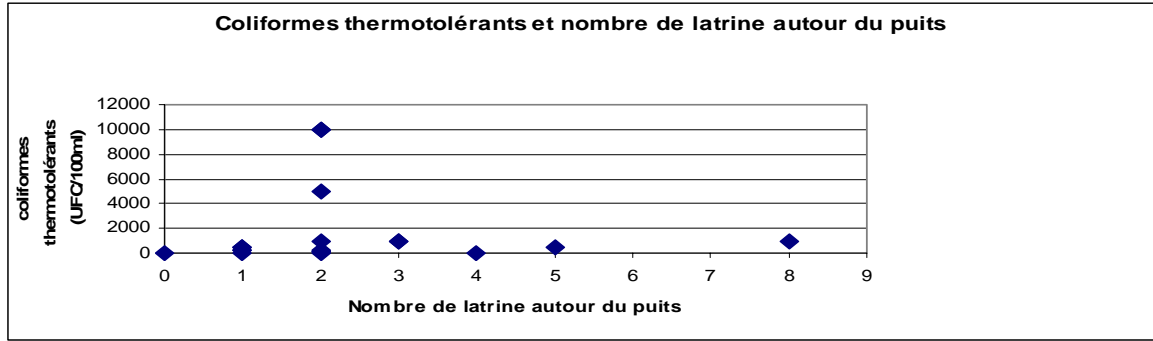
La relation n'est pas évidente, cependant on peut cependant noter que le puits situé à 30m de la latrine présente des bonnes qualités (Figure 16).



**Figure 16 :** Relation entre les germes fécaux et la distance puits latrine

### Relation entre pollution bactériologique et nombre de latrines autour du puits

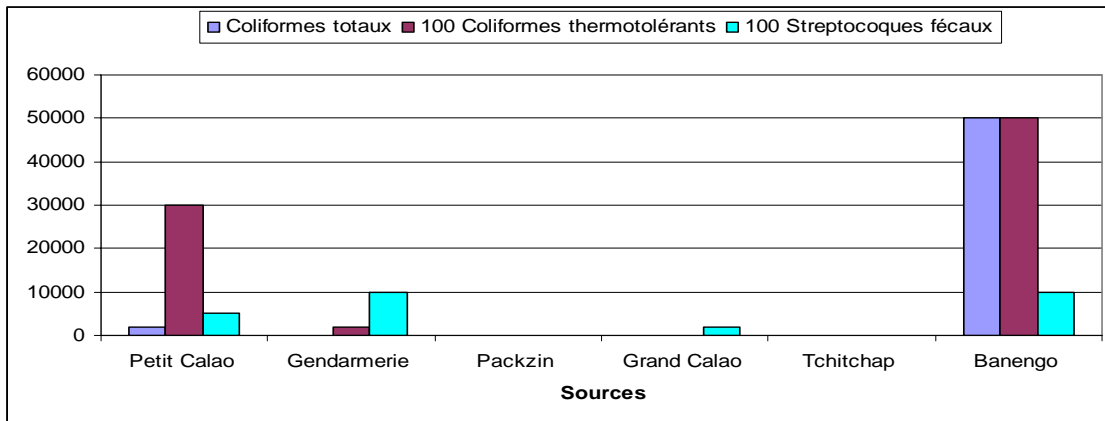
Les concentrations varient indépendamment du nombre de latrines situées à proximité des puits (figure 17). Certains puits entourés par exemple de 8 latrines sont moins pollués que d'autres puits entourés de deux latrines seulement.



**Figure 17 :** Relation entre les germes fécaux et le nombre de latrine autour du puits

**FACTEURS DE POLLUTION ET CONTAMINATION MICROBIOLOGIQUE DANS LES EAUX DE SOURCES**

La contamination est influencée par le degré d’aménagement et la distance qui les sépare des latrines. La pollution est beaucoup plus notée dans les eaux de sources non aménagées. Cependant, on peut noter que la source Banengo, bien qu’aménagée, présente une forte pollution bactériologique (figure 18). En effet, en amont de cette source à 15 m se trouve une latrine appartenant au gardien de ladite source et serait donc à l’origine de la contamination microbiologique de ces eaux.



**Figure 18:** Pollution microbiologique des eaux de source

**QUALITÉ CHIMIQUE DES EAUX DE SURFACE**

Le pH est plus élevé que dans les eaux souterraines; il est compris entre 5,58 et 6,72 en saison des pluies et entre 6,66 et 7,18 en saison sèche.

Les eaux polluées par la Savonnerie sont nettement alcalines avec un pH de 9,37 en saison humide et 12,11 en saison sèche.

Les eaux polluées par les effluents des Brasseries sont plutôt acides (pH est de 5,58).

Elles sont moyennement minéralisées en saison des pluies et ont une minéralisation élevée en saison sèche: les conductivités sont comprises entre 122,4 et 605 µS/cm en saison des pluies et entre 141,1 et 4820,6 µS/cm. Les conductivités les plus élevées sont enregistrées au niveau des points de déversement des effluents industriels et des eaux vannes.

Ces eaux présentent des fortes teneurs en bicarbonates, phosphates et en matières en suspension. La présence des phosphates provient des lessives phosphatées et des rejets humains. Les eaux de surface sont très chargées en matières minérales et organiques du fait que les eaux usées et les effluents industriels y sont déversés sans traitement.

La DBO5 et la DCO sont très élevées surtout dans les zones de déversement des effluents industriels, des eaux usées et eaux vannes. Les rapports DCO/DBO5 sont nettement supérieurs à 3, ce qui laisse suspecter une pollution d'origine industrielle.

### ***CARACTÉRISTIQUES BACTÉRIOLOGIQUES DES EAUX DE SURFACE***

Les eaux de surface sont bactériologiquement très chargées (les germes aérobies varient de 100 000 à 1.000 000 UFC/ml ; les coliformes thermotolérants de 10 000 à 50 000 UFC/100ml ; les coliformes totaux de 30 000 à 100 000UFC/100ml et les germes anaérobies sulfite-réducteurs de 100 à 10 000UFC/100ml). Les germes tels que Escherichia coli, Salmonella sp., Shigella sp., Klebsiella pneumoniae, Proteus vulgaris, Serratia, Proteus mirabilis, Enterobacter cloacae, Pseudomonas sp. ont été enregistrés dans les eaux de surface.

La présence des bactéries Escherichia coli sont une preuve indiscutable de la pollution fécale des eaux de surface. En effet, c'est dans les cours d'eau que sont déversés les produits de vidange issus des sociétés de vidange et des ménages riverains.

### **Conclusion et recommandations**

Cette étude a permis de mettre en évidence la dégradation des ressources en eau dans la ville de Bafoussam. Les analyses effectuées sur des échantillons d'eau de surface pris au niveau des rivières et des échantillons d'eaux souterraines pris au niveau des puits et des sources ont révélé une forte pollution chimique et bactériologique. Sur le plan bactériologique, les eaux souterraines de la ville de Bafoussam présentent de fortes concentrations de streptocoques fécaux, de coliformes thermotolérants et de coliformes totaux témoignant d'une pollution d'origine fécale humaine et animale. De fortes concentrations en nitrates et en ammonium ont été enregistrées dans ces eaux. Les eaux issues des rivières ont présenté également une forte pollution par les germes fécaux et des fortes concentrations en matières en suspension (MES), en bicarbonate et en phosphore. Les paramètres que sont la DBO<sub>5</sub> et la DCO sont également élevés et témoignent des multiples contraintes auxquelles les ressources en eaux superficielles sont soumises. La pollution est accrue. En effet, seuls les échantillons d'eau de la source packsin ont présenté de bonnes qualités chimiques et microbiologiques répondant aux critères de potabilité exigés par l'OMS. Notons que cette source ne présente aucune source de pollution (latrine, tas d'ordures, industries) dans son environnement immédiat (rayon de 30m) et renforce ipso facto l'idée primordiale de mener des actions portant sur la protection des ressources en eau en tenant compte du contexte socio-économique.

Différentes corrélations intégrant les paramètres physiques (distances puits-latrine, position topographique, nombre de latrine, position de la source de pollution, type d'aménagement du puits) à la qualité de l'eau ont été effectuées en vue de déterminer les différents facteurs de pollution des eaux souterraines dans la ville de Bafoussam. Aucune corrélation n'a été notée entre la position topographique ou encore le nombre de latrines autour du point de captage et la qualité des eaux souterraines. Par ailleurs, la relation entre la position de la source de pollution par rapport au puits ou à la source est très significative ainsi que la distance séparant les deux ouvrages (puits/sources et latrine).

La proximité d'une latrine ou d'une fosse septique joue énormément sur la qualité de l'eau, et l'aménagement seul ne suffit pas. Les cas typiques des sources aménagées de Banengo et Tchitchap sont évocateurs à ce propos où malgré l'aménagement extérieur, on a enregistré une forte pollution chimique et bactériologique des eaux. Les ouvrages alternatifs d'approvisionnement en eau, même lorsqu'ils sont

aménagés, se révèlent aussi vulnérables aux pollutions. En effet, l'aménagement du puits ou de la source, qui généralement est superficiel, n'influe pas de façon directe sur la qualité de l'eau qui circule en profondeur dans le sol. Toutefois, il est important de noter qu'un puits tout comme une source non aménagée, sont exposés aux pollutions de surface (eaux usées, eaux de ruissellement, déchets solides).

Dans leur grande majorité, tous les puits ayant des latrines dans un rayon de 15 m ont présenté une forte pollution chimique. Cependant, certains puits situés très près de la latrine (moins de 10m), n'ont présenté aucune pollution chimique. Ce qui laisse penser qu'en dehors de la position de la latrine et de la distance qui sépare le puits de la latrine, il existe d'autres paramètres contrôlant la qualité des eaux souterraines telles que le sens d'écoulement des eaux et les fluctuations du niveau piézométrique.

Les études hydrodynamiques montrent que la nappe est directement alimentée par les précipitations. En effet, les niveaux piézométriques varient avec la pluviométrie et la topographie. En bas de pente et dans les zones marécageuses, la nappe est sub-affleurante, par conséquent les niveaux piézométriques sont proches de la surface du sol. Les plus grandes fluctuations de la nappe sont observées sur les sommets et les zones proches des sommets.

Des actions devraient être menées afin de limiter cette dégradation des ressources en eau dans la ville de Bafoussam. Ces actions devraient porter sur la gestion des déchets, sur la mise en place des ouvrages d'assainissement adaptés au contexte socio-économique et géographique d'une part et d'autre part des études complémentaires devront être menées afin d'avoir des résultats concluants. Il s'agira de faire une cartographie des écoulements souterrains, une carte de vulnérabilité des eaux, d'étudier les capacités auto-épuratrices de chaque groupe de sol,... Toutefois, une bonne campagne de sensibilisation et d'éducation des populations devrait être menée.

#### **Remerciements :**

Nos vifs remerciements à l'IFS, CRDI à travers l'Equipe Ecosanté COPES-AOC, au Gouvernement Français à travers l'Institut de Recherche pour le Développement (IRD) et la Coopération Française au Cameroun qui a pu nous trouver les fonds nécessaires à la réalisation de ce travail. Un remerciement particulier au Pr. Fayomi Benjamin, à Monsieur François Rivière, au Dr Jean-Loup Boeglin, au Dr Eric Maire, pour l'intérêt accordé à ce projet.

#### **Biographie :**

Mpakam Hernanie Grelle, née le 31 Mars 1975 à Mbo (Ouest-Cameroun) est Docteur en Sciences de l'Eau et Environnement, au Laboratoire de Géologie de l'Ingénieur et d'Altérologie du Département des Sciences de la Terre à la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I et membre de l'équipe ECOSANTE COPES-AOC. Le premier et le second cycle universitaire ont été effectués à l'Université de Dschang, les études secondaires au Collège Elie Allegret de Mbo.

#### **Bibliographie :**

ACTION AGAINST HUNGER, (1999) : Étude sur l'accessibilité à l'eau potable des habitants de Maroua urbain et péri-urbain. *Rapport, 11p.*

AGENCE DE L'EAU DU RHIN-MEUSE, (2007) : Définition de la pollution de l'eau et ses impacts. [www.eau-rhin-meuse.fr](http://www.eau-rhin-meuse.fr) .

BABA-MOUSSA A., MAYSTRE L. Y., SCHERTENLEIB R., (1995) : Étude de la pollution bactériologique de la nappe phréatique à partir d'une latrine en Afrique subtropicale. *La Tribune de l'Eau [Trib. Eau ]*, Vol. 48, n° 578, pp. 43-58.

- BEMMO N., NJINE T., NOLA M. et NGAMGA G. (1998a) :- Impact des différents dispositifs d'évacuation des eaux de vidange, des eaux usées, des excréta humains et des déchets solides sur les ressources en eau, la santé et l'environnement : cas des quartiers denses à habitats spontanés et des zones périurbaines de Yaoundé-Cameroun. Proposition de systèmes appropriés tenant compte des contraintes locales. *Rapport de recherche*. 160p.
- BEMMO N., NJINE T., NOLA M. et NGAMGA G. (1998b) :- Techniques utilisées au niveau des quartiers périurbains de Yaoundé (Cameroun) pour l'évacuation des eaux usées et excréta humains. Proposition de systèmes appropriés. *Rapport final. Action de recherche N°4, programme « Alimentation en eau potable dans les quartiers périurbains et les petits centres »* 126p.
- DEME I. (2003) : Contribution à l'étude de la qualité des eaux et de la vulnérabilité de la nappe phréatique de la commune de Bakel et environs (Sénégal), *Mém de D.E.A. de Géologie Appliquée, Mention hydrogéologie, U.C.A.D, 88 p + annexes*.
- DERRADJI F., BOUSNOUBRA H., KHERICI N., ROMEO M. et CARUBA R., (2007) : Impact de la pollution organique sur la qualité des eaux superficielles dans le Nord-Est Algérien. *Sécheresse vol. 18, n°1. pp. 23-27*.
- DIALLO M.S., (2004): Contribution à l'étude de la qualité des ressources en eau dans la zone de Dindefello (région de Tambacounda-Département de Kédougou) Sénégal. *Départ. Géol., Fac. Sci. et Tech., Univ. Cheikh Anta Diop, Dakar, Sénégal.9p*.
- DJEUDA TCHAPNGA H.B., TANAWA E. et NGNIKAM E., (2001) : L'eau au Cameroun. Tome 1 : Approvisionnement en eau potable. *LESEAU, Press Univ. Yaoundé, 359p*.
- 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 technologie appropriées pour l'eau aux petits ensembles habités. Barcelone (Espagne), du 13 au 15 octobre 1998. 11p*.
- DJUIKOM E., (1998) : Qualité bactériologique et physico-chimique des cours d'eau du réseau du Mfoundi à Yaoundé. *Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle, Fac. Sci., Univ. Yaoundé I, 165p*.
- EL ASSLOUJ J., KHOLTEI S., EL AMRANI-PAAZA N. et HILALI A., (2007) : Étude de la qualité physicochimique des eaux souterraines de la communauté Mzamza, au voisinage des eaux usées. *Afrique Science. 03 (1), pp 109-122*.
- ESSOUMBA BATA C.N., (2005): étude des pollutions et leurs impacts sur l'environnement du Port Autonome de Douala. *Mém. DEA, Sc.Terre, Fac. Sci., Univ. Yaoundé I ; 70p + Annexes*.
- FORGET G. et LEBEL J. 2001 : Une approche d'écosystème à la santé humaine, in *Journal International de la santé professionnelle et environnementale, Chapitre 3, volume 7, n° 2, pp 594-638*.
- GLORIA E.T., (2000): Effets of industrial water quality in the Bassa Industrial zone-Douala. *M. Sc. Thesis, University Of Buea, 99p*.
- HASSOUNE EL M., BOUZIDI A., KOULALI Y. et HADARBACH D., (2006) : Effets des rejets liquides domestiques et industriels sur la qualité des eaux souterraines au nord de la ville de Setta (Maroc). *Bull. de l'Inst. Sci., Rabat Sect. Sci. De la vie ; n°28, pp 61-71*.

- HENRISCHEN D., RUWAIDA M. S. et BLACKBURN R., (2002) : Répondre au défi urbain. *Population Reports. Série M, Numéro 16. Info Project. Maryland, USA. 23 p.*
- KOUAM KENMOGNE G.-R., (2004) : Contribution à l'étude de la vulnérabilité des nappes superficielles en zone urbaine tropicale : cas du bassin versant de Mingoa- Yaoundé. *Mémoire de DEA, Sci. de la Terre, Univ. Yaoundé I, 114p.*
- KOUAM KENMOGNE G.-R.; MPAKAM H.G. ; AYONGHE NDONWI S., DASSARGUES A., EKODECK G. E., 2006: gestion intégrée des ressources en eau et objectifs du millénaire pour le développement en Afrique : cas du Cameroun, *Vertigo, Revue en Sciences de l'Environnement, Vol 7, n°2, art11, 9p.* ([www.vertigo.uqcam.ca/vol7n2/art11vol7n2](http://www.vertigo.uqcam.ca/vol7n2/art11vol7n2) ).
- LHADI E.K., MOUNTADAR M. et TOUNSI A., (1996): Pollution par les nitrates des eaux souterraines de la zone littorale de la province d'el Jadida (Maroc). *Hydrogéologie, 3. pp. 21-23.*
- MAKOUTODE M., ASSANI A.K., OUENDO E.-M., AGUEH V. D. et DIALLO P., (1999) : Qualité et mode de gestion de l'eau de puits en milieu rural au Bénin : cas de la sous-préfecture de Grand-Popo. *Médecine d'Afrique Noire, 46 (11), pp 474-478.*
- MANYE D. (2001) : Caractérisation des paramètres de pollution hydrobiologique dans la vallée de la Biyemme :- Arrondissement de Yaoundé VI. *Mém. Maîtrise Fac. Sci. Univ. Yaoundé I. 58p.*
- MEKONTSO A., (1994) : Impact des égouts domestiques sur la distribution des macroinvertébrés de la rivière de Biyeme à Yaoundé. *Mém. Maîtrise, Univ. Yaoundé I, 44p.*
- MPAKAM H. G., (2000): Typologie et cartographie des sols de la zone d'altitude du versant sud des Monts Bambouto. *Mémoire de maîtrise. Fac. Sc. Univ. Dschang, 93p.*
- MPAKAM H.G., KAMGANG KABEYENE B.V., KOUAM KENMOGNE G.R., BEMMO N., EKODECK G.E., (2006) : L'accès à l'eau potable et à l'assainissement dans les villes des pays en développement (cas de Bafoussam au Cameroun). *Vertigo, Revue en Sciences de l'Environnement, Vol 7 n°2, Art 12, Septembre 2006, 10p.* ([www.vertigo.uqam.ca/vol7n2/art12vol7n2/forme\\_article](http://www.vertigo.uqam.ca/vol7n2/art12vol7n2/forme_article) ).
- MOKOFIO F., RENAUDET J., OPANDY C., BASTARD G., ABEYE J., YETE M.L., TOUABE J., GONDAO L. et VOHITO J.A., (1991): Qualité bactériologique des eaux des puits, des sources et des forages dans la ville de Bangui : Premiers résultats et perspectives. *Médecine d'Afrique Noire, 38 (11), 3p.*
- NAIRAIN S. (2002) : Le WC avec chasse est écologiquement « mal pensé ». *Down to Earth, Vol 10, N°19, February 28, 19p.*([www.tu-harburg.de/susan/downloads/theflusstoilet-fr.pdf](http://www.tu-harburg.de/susan/downloads/theflusstoilet-fr.pdf)).
- NGO MASSANA B., (1998) : Hydrochimie et qualité des eaux souterraines de l'arrondissement de Yaoundé IV. *Mém. Maîtrise Sci. de la Terre, Univ. Yaoundé I, 84p.*
- NOLA M., (1996) : Peuplement bactérien des eaux souterraines de Yaoundé. *Thèse de doctorat de 3<sup>ème</sup> Cycle. Univ. Yaoundé I, 175p.*



- NOLA M., NJINE T., MONKIEDJIE A., SIKATI FOKO V., DJUIKOM E. et TAILLEZ R., (1998) : Qualité bactériologique des eaux de sources et des puits de Yaoundé (Cameroun). *Cahiers Santé*, 8(5) : pp 330-336.
- NOLA M., NJINE T., DJUIKOM E. et SIKATI FOKO V., (2000): Bacteria indicators dynamics in well as influenced by well depth and well water column thickness in Yaounde (Cameroon). *Africa Journal of Science and Technology*, 1(2): pp 82-91.
- 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. *Mem DEA, Depart Sci. Terre, Fac Sci, Univ Yaoundé I*, 107p.
- RODIER J., (1978) : L'analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. 6<sup>ème</sup> Ed ; *Dunod Technique Paris*, PP 709-785.
- RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.P., CHAMBON P., CHAMPSAM H., RODIL L., (1996) : L'analyse de l'eau : eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. *Edition Dunod technique, Paris*, 1384p.
- SAVADOGO N. A., (1984): Géologie et hydrogeology du socle cristallin de Haute-Volta. Etude régionale du bassin versant de la Sissili. *Thèse de doctorat d'Etat, Université de Grenoble I*. 350 p.
- TAMO TATIETSE T, et NTAMACK D. (2002) : Impact de l'assainissement autonome sur les ressources en eau dans les quartiers spontanés des grandes villes du Cameroun. *Labo. Aménagement Urbain, ENSP.Yaoundé*, 9p.
- TAZI OUADIA, FAHDE A., EL YOUNOUSSI S. (2001) : Impact de la pollution sur l'unique réseau hydrographique de Casablanca, Maroc. [*Sécheresse : (Montrouge)*], Vol.12, n° 2, pp.129-134.
- TCHAMANI P., (1995): La problématique de l'approvisionnement de Bafoussam en eau potable. *Mémoire DIPES II. ENS, Yaoundé*, 132p + Annexes.
- UE/PACDDU, (Union Européenne/ Programme d'Appui aux Capacités Décentralisées et du Développement Urbain), (2004) : Profil de la ville de Bafoussam. UE/PACDDU, Région Ouest et Nord-Ouest, *Rapport*.100p.
- WETHE J., RADOUX M., TANAWA E., (2003): Assainissement des eaux usées et risques socio-sanitaires et environnementaux en zone d'habitats planifiés de Yaoundé (Cameroun). *VerdigO. La revue en Sciences de l'Environnement*. Vol. 4, n°1, 12p.
- YAMEOGO S. et SAVADOGO NINDAOUA A. (2002) : Les ouvrages de captage de la ville de Ouagadougou et leur vulnérabilité à la pollution. *Labo. Hydrogéologie, Univ .de Ouagadougou, UFR/SVT, Ouagadougou*. 9p.



**Photo 1 : Puits non aménagé (MDJEL 2 P1)**



**Photo 2 : Puits non aménagé (MDJEM P2)**



**Photo 3 : Puits semi-aménagé (MBAN P3)**



**Photo 4 : Puits semi-aménagé (MBAM P4)**



**Photo 5 : Puits aménagé (MTCHOU P1)**



**Photo 6 : Puits aménagé (MBAN P4)**



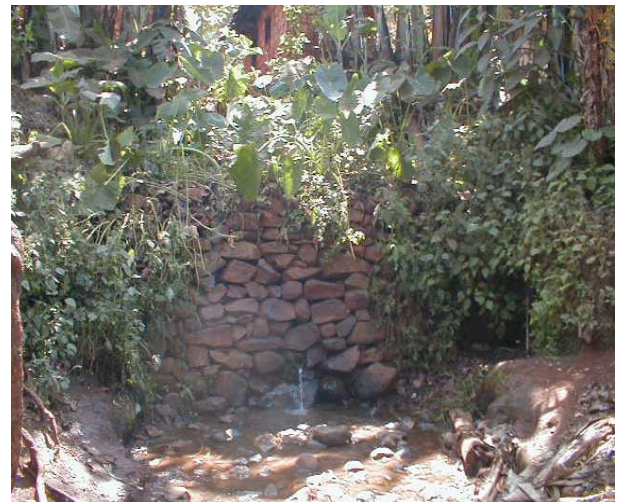
**Photo 7: Source non aménagée (MFAM S)**



**Photo 8: Source non aménagée (MKALAO SP)**



**Photo 9: Source semi-aménagée (Grand-Calao)**



**Photo 10: Source semi-aménagée (Packzin)**



**Photo 11: Source aménagée de Tchitchap**



**Photo 12: Source aménagée de Banengo**