



Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité et la dynamique des eaux souterraines dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun

A. NONO ^{1*}, J. D. H. LIKENG ¹, H. WABO ², G. TABUE YOUNBI ² et S. BIAYA ²

¹ *Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences B.P.67, Université de Dschang, Dschang, Cameroun.*

² *Département des Sciences de la Terre, Faculté des Sciences B.P.812, Université de Yaoundé I, Yaoundé, Cameroun.*

* *Corresponding author, E-mail: alex_nono2000@yahoo.fr*

RESUME

Les Hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun constituent une vaste zone de hautes terres où de nombreuses populations consomment de l'eau à l'état naturel. Le but de cette étude est d'établir si possible un lien entre les faciès, les structures géologiques, la productivité et la qualité chimique des eaux de consommation. Les méthodes géologiques (cartographie de terrain, la photo-interprétation, les sondages géoélectriques et les analyses chimiques (par volumétrie, colorimétrie et émission de flammes) ont été utilisés. Le site d'étude est un vaste ensemble constitué d'un socle granito-gneissique (gneiss, granitoïdes, amphibolites), recouvert par un manteau volcanique (basaltes, trachytes, rhyolites, ignimbrites), mis en place selon la tectonique de la Chaîne Panafricaine Nord-Equatoriale et de la Ligne Volcanique du Cameroun. Les gneiss et migmatites sont foliés (plan de foliation N25-75E, axe des plis N30-40E et N60-70E), les orthogneiss et amphibolites ont une schistosité variable (N-S à N60E) avec pendage variable (30 à 90° vers le SSW, SW et ESE). La couverture volcanique très répandue (3/5 de la superficie) est par endroit fortement altérée et latéritisée. La concordance entre le tracé des cours d'eau, l'allongement des reliefs (NE-SW, NW-SE, et E-W), l'orientation des structures des roches (schistosité, foliation), les diaclases (N20-40E, N130-140E) et les linéaments (N20-40E, N70-80E et N150-160E) favorise l'infiltration des eaux et offre des potentialités hydrogéologiques. Les eaux sont chlorurées calciques et magnésiennes, bicarbonatées calciques et magnésiennes et enfin bicarbonatées sodiques et potassiques, sans liaison aux faciès pétrographiques ni à leur âge. Les minéralisations liées au faciès lithologiques, à la profondeur des nappes et au degré d'altération des roches sont en général faibles (≤ 587 mg/l), les plus fortes valeurs étant obtenues dans les formations basaltiques. La productivité des forages (jusqu'à 20 m³/h) est liée au degré de fracturation et à la nature de la roche.

© 2009 International Formulae Group. All rights reserved.

Mots clés: Hauts plateaux, Ouest-Cameroun, faciès, minéralisations, productivité.

INTRODUCTION

Les Hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun forment un vaste ensemble constitué des hautes terres (plateau Bamoun, monts Bambouto, Bamenda, Oku et Bana) et de plaines (Noun et Ndop). Ils sont constitués de formations superficielles (alluvions, élutions et altérites), des formations volcaniques (basaltes, trachytes, phonolites,

rhyolites, tufs, ignimbrites) et du socle granito-gneissique.

La nature des formations géologiques oriente la qualité des eaux souterraines (Djeuda, 1987; Furry, 1997; Derron, 1999), qui au cours de leur trajet souterrain, à travers les fissures et en fonction du temps qu'elles passent au contact de ces formations géologiques, échangent leurs ions avec ceux

© 2009 International Formulae Group. All rights reserved.

contenus dans les roches. L'altération des minéraux des roches libèrent aussi dans les eaux des éléments mobiles (alcalins et alcalino-terreux) et les éléments traces (Salbu et Steinnes, 1995). Ces éléments, notamment Pb^{2+} et Cu^{2+} forment des complexes organo-métalliques en présence de matière organique (Jackson, 1998). L'oxydation et la précipitation de certains éléments se déroulent lors de l'abaissement du niveau piézométrique. C'est le cas du fer (Temgoua et al., 2005), de la silice et du calcium (Nahon, 1976). Trois principes peuvent être proposés pour l'interaction eau-roche silicatée (Drever et Zobrist, 1992):

- 1) la composition chimique des eaux est contrôlée par l'altération des minéraux primaires de la roche en phases secondaires;
- 2) la formation des phases secondaires est déterminée par la composition des solutions;
- 3) l'altération chimique est sélective: les minéraux ne contribuent pas proportionnellement à leur abondance dans la roche à la composition des eaux.

Le problème d'approvisionnement en eau potable se pose avec acuité dans les villes camerounaises où les besoins ne sont que très partiellement satisfaits à cause de la faible extension du réseau de distribution, la forte pression démographique et les faibles revenus d'une importante frange de la population. La situation est plus alarmante dans les zones périurbaines et rurales (cas des Hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun) où les populations recourent aux eaux de pluies, des puits, des sources et des forages dont la qualité et la quantité ne sont pas toujours assurées.

L'Etat à travers la Société Nationale des eaux (SNEC), devenue Camerounaise des eaux (CDE) et CAMWATER, couvre moins de 40% de la demande en eau potable dans tous les centres urbains où elle est présente. En zone rurale, les programmes d'hydraulique villageoise ont permis la réalisation de plusieurs forages afin de faciliter l'accès en eau potable des populations. Malgré la réalisation de ces points d'eau dans les villages, le nombre moyen d'habitants à approvisionner en eau potable est encore élevé (DNS, 1999). Une bonne tranche de la population s'approvisionne encore dans les sources, les puits, et les cours d'eau dont la qualité d'eau n'est pas toujours connue; cette

qualité est d'ailleurs rarement déterminée, même dans le cas de certains ouvrages d'hydraulique villageoise (Djeuda et al., 2001). Dans la province de l'Ouest Cameroun, le ratio est de 2775 habitants par ouvrage d'eau (MINMEE/DRH, 1997).

Il se pose donc un problème du choix de la source à aménager et de la méthode fiable d'implantation de forages productifs et de bonne qualité, d'où l'importance de thème d'étude qui est une innovation. Ainsi, les travaux sur l'influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de source (Nono et al., 2001, 2004; Biaya, 2002; Nono et al., 2008) montrent que dans les nappes d'altération, les eaux sont dans un état plus ou moins proche de l'équilibre. Pour ces auteurs, le problème majeur rencontré dans les eaux de source et des forages est la présence des fortes teneurs en fer.

La présente étude a pour but de trouver si possible après un examen géologique, géophysique et hydrogéochimique, un lien entre faciès géologiques, productivité des sources et forages, faciès chimiques et minéralisations des sources et forages en liaison avec les normes de potabilité, le fer étant préoccupant dans la mesure où son dépôt sous forme d'oxydes peut nuire à l'environnement (dépôts boueux), obstruer les canalisations, rendre l'eau impropre à la consommation, surtout en zone rurale où il n'y a pas de traitement chimique préalable.

MATERIELS ET METHODES

Le site expérimental

Cadre géographique

Les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun (Figure 1) sont situés entre $09^{\circ}55'$ et $11^{\circ}30'$ de longitude Est et 5° et $6^{\circ}10'$ de latitude Nord. Ce grand ensemble a des altitudes variant entre 1000 m dans la plaine du Noun et 2740 m au Mont Meletan dans les Bambouto avec des escarpements d'environ 200 m de dénivellation (Foréké, Bandjoun, Batié). La géomorphologie d'ensemble est constituée de collines surbaissées, aplanies par l'érosion et les vallées à fond plat dans lesquelles circulent les cours d'eau permanents et intermittents (Regnault, 1986). La végétation rencontrée est une savane humide avec des plantes hydrophiles et hydrophobes. Les sols sont de types

ferrallitiques, hydromorphes et peu évolués (Segalen, 1967). L'hydrographie est marquée par des portions rectilignes signe d'un contrôle structural et par de nombreuses chutes et cascades. Les deux plus grands collecteurs de la région sont le Noun et le Nkam. Le climat est de type tropical humide tempéré par l'altitude, avec une pluviométrie moyenne annuelle de 1700 mm d'eau. La température moyenne annuelle oscille autour de 21 °C.

Cadre géologique et hydrogéologique régional

Les hauts plateaux de l'ouest Cameroun sont constitués par un socle granito-gneissique panafricain que recouvre un manteau volcanique.

Le socle des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun est essentiellement constitué de granulites hétérogènes (gneiss de haut degré), d'amphibolites et de granitoïdes très répandus dont certains forment des larges plutons tels que la syénite de Bangangté, les charnokites

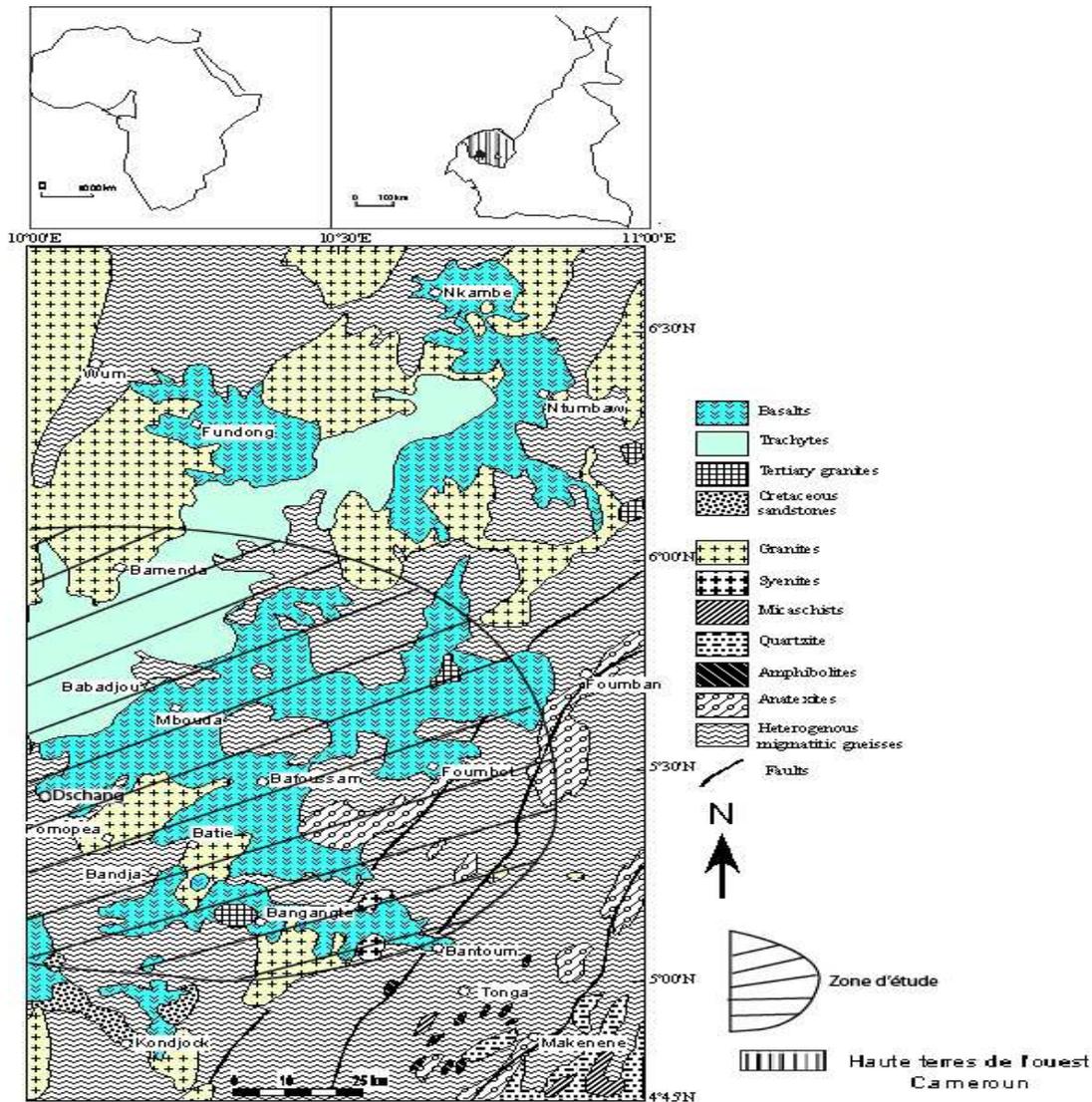


Figure 1: Localisation des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun et de la zone d'étude. Le fond géologique est une compilation de Weecksteen (1957), Dumort (1968) et Peronne (1969), modifié et complété par Nzolang (2005).

de Bandja et le granite de Batié. Ces granitoïdes correspondent aux « granites circonscrits » d'après Bessoles et Trompette (1980) et sont recouvertes par un complexe volcanique cénozoïque essentiellement basaltique et trachytique (Monts Bambouto, Bamenda et Bangou) et des complexes annulaires anorogéniques (Mont Bana = pluto-volcan) qui font partie de la Ligne Volcanique du Cameroun (Déruelle et al., 1991).

Les granitoïdes se sont mis en place suivant la tectonique régionale SW-NE, comme l'attestent le parallélisme entre la schistosité ou fabriques magmatiques des granitoïdes et la schistosité ou foliation dans l'encaissant métamorphique, ainsi que l'allongement des massifs parallèlement à la tectonique régionale (Nzolang, 2005). Dans le secteur de Bantoum (au Sud de Banganté) l'évolution structurale comprend deux phases de déformation; D_1 tangentielle et D_2 cisailante. La D_1 est caractérisée dans les granitoïdes par une intense schistosité mylonitique N20-35°E souvent associée à une structure S/C plus discrète (Berthé et al., 1979). Dans les gneiss et les amphibolites, D_1 correspond à une foliation et une schistosité semblables à celles des granitoïdes, des plis isoclinaux à plans axiaux orientés N60-70°E et des élongations minérales plongeant à moins de 30° vers le Sud. L'organisation des plans de foliation et de schistosité les intègre bien dans les grands plis régionaux (antiformes et synformes) plongeant de 40-60° vers le NE et SW. La phase D_2 ne s'observe que dans les roches métamorphiques et se caractérisent par des plans cisailant N10-20°E, larges de 5-40 cm, majoritairement sénestres, souvent remplis de leucosome et des plissements variés affectant les gneiss et la schistosité de plan axial associée.

Les roches du socle de la région de Foumban sont constituées d'une unité granito-gneissique associée à des roches basiques (amphibolite et monzodiorite) (Njonfang et al., 1998). Le complexe néoprotérozoïque de Ngondo (Tagné Kamga et al., 1999; Tagné Kamga, 2003) est un pluton constitué de trois roches intrudées successivement dans un gneiss à hornblende et biotite: roches basiques à intermédiaires (diorite, granodiorite et grabbro), granites microgrenus et granites porphyroïdes. Ces roches hyperpotassiques, calco-alcalines à subalcalines se sont

syntectoniquement mise en place dans la zone de grand cisaillement ductile N30°E pendant la phase D_2 .

Le complexe plutonique de Bandja (Nguessi et Vialette, 1994) est constitué d'une unité mylonitique comprenant des roches charnokitiques, des orthogneiss et des gneiss lités et une unité moins déformée constituée de granites et monzonites. Leur mise en place syntectonique permet de dater les principales phases de déformation du panafricain: $\text{syn}D_1$ à 640Ma (U-Pb-Zr) dans les charnokites et 557Ma (Rb-Sr) dans les granites ainsi leur mise en place tardi-tectonique ($\text{syn}D_3$) (Nguessi et al., 1997).

Le massif de Batié (Talla, 1995) est constitué de monzodiorite, granodiorite et de granite à hornblende et biotite alors que le massif de Fomopéa (Kwékam, 1993) est essentiellement formé de granites à hornblende et biotite, associés aux granites à deux micas et des roches basiques (diorites, métadiorites et amphibolites). Ces deux massifs ont des caractéristiques géochimiques similaires (méta-alumineux, calco-alcalin et hyperpotassique) et se sont mis en place à 576 +/- 24 Ma et 575 +/- 17Ma respectivement (datation Rb-Sr).

Le pluton syénitique de Bangangté (Tchouankoué, 1992) est constitué de syénite à gros grains et de monzonite à pyroxène et amphibole montrant des tendances hyperpotassique, alcaline et méta-alumineux. Ils sont datés de 630-606 Ma (datation Rb-Sr).

Les amphibolites et les gneiss (surtout riches en plagioclases) datés du paléoprotérozoïque (1,7-2,3 Ga), ont des caractéristiques géochimiques indicatrices des précurseurs de compositions basaltiques avec des affinités des MORB et des basaltes intraplaques (Nzolang, 2005).

Le massif pluto-volcanique de Bana (Nana, 1988) est intrusif dans le complexe métamorphique panafricain de base et les basaltes de plateau datés probablement de l'éocène-oligocène. De forme annulaire et d'environ 6 km de diamètre, le massif comprend dans la suite volcanique des mugéarites, benmoréites, rhyolites et ignimbrites rhyolitiques alors que les roches plutoniques sont constituées de leucogabbros, monzodiorites, monzonites et des granites à tendance hyperalumineuse et hyperalcaline. Les travaux pétrologiques et géochimiques

(Kuepou, 2004; Kuepou et al., 2006) ont permis de distinguer deux séries magmatiques: une série alcaline et une série subalcaline (transitionnelle). La série alcaline se limite aux basanites, basalte à olivine et hawaïites alors que la série subalcaline forme la principale unité géologique et comprend des roches extrusives et intrusives: basaltes à plagioclase, benmoréite, trachyte comenditique, comendite et pantellérite pour les roches extrusives, syénodiorite et syénodiorite à quartz, granites à arfversonite/aegyryne, granite à biotite et hornblende (métalumineux) et des granites à biotite (légèrement hyperalumineux) pour les roches intrusives. La datation Rb-Sr sur roche totale donne un âge de 30 Ma (Lassere, 1978) alors que la méthode K-Ar donne 30 Ma pour la phase transitionnelle (Kuepou et al., 2006).

Le massif volcanique des Bambouto constitue le troisième volcan de la Ligne Volcanique du Cameroun en importance après les Monts Cameroun et Manengouba. Il s'agit d'un volcan polygénique (Saluvio et al., 2000) dont le sommet est occupé par deux caldéras d'effondrement emboîtées (Weeksteen, 1954; Tchoua, 1973). Les produits émis sont outre les laves basiques (basaltes aphyriques latéritisés et basaltes porphyriques), les laves plus ou moins différenciées (trachytes et phonolites) (Youmen, 1994; Youmen et al., 2005; Nni et Nyobé, 1995), des ignimbrites trachytiques et rhyolitiques (Tchoua, 1968 et Dumort, 1968) et des scories anté-ignimbrites (Nono et al., 2004a).

Le massif volcanique de Bangou (44,7 Ma datation ^{40}K - ^{40}Ar) est le volcan le plus ancien daté de la Ligne du Cameroun (Fosso et al., 2005). Il s'est édifié en deux phases à la suite d'un volcanisme à dominance fissurale: l'épisode E_1 (44,7 Ma) est caractérisée par l'épanchement de laves peu évoluées (basaltes et mugéarites) qui affleurent aujourd'hui en buttes et replats au centre du massif, alors que l'épisode E_2 (44,5-43,1 \pm 1 Ma) est marquée par une série de laves plus différenciées (trachytes et rhyolites) à la périphérie du massif (Fosso, 1999). Il est à noter en plus des laves de ces deux épisodes, des épanchements de basaltes alcalins de Bandjoun (38 Ma) au Nord et de basaltes alcalins pliocènes plus récents (4,39 \pm 0,11 Ma) recouvrant les laves de l'épisode E_2 . Dans l'ensemble, toutes les

laves des Monts Bangou et ses environs sont très altérées, latéritisées à toutes les altitudes, largement entaillées par l'érosion et recouvertes par une importante végétation.

Sur le plan hydrogéologique, très peu de travaux ont été faits sur les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun (Tella, 1999; Nono et al., 2001, 2004b, 2004c). Le massif des Bambouto constitue le second château d'eau du Cameroun après l'Adamaoua. De plus la forte pluviométrie (1700–2500 mm), l'intense activité tectonique (Fracturation), la présence d'innombrables et épais affleurements de tufs et de basaltes prismés et l'altération parfois très poussée des roches font des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun une zone très favorable à la formation des nappes d'eau souterraine qui assurent la régularisation naturelle des débits de saison sèche des cours d'eau des bassins versants du Wouri, de la Sanaga (Dubreuil et al., 1975), de la Bénoué inférieure (Katsena Ala et Donga) et de la Manyu.

Méthodes géologiques

Elles permettent d'inventorier, de caractériser les types lithologiques, les types de déformations et de mettre en exergue les contacts anormaux présents dans la région, surtout dans les environs des sources et forages à étudier. Elles s'effectuent par des observations et mesures directes sur le terrain suivi d'échantillonnages pour la réalisation des analyses chimiques et des lames minces nécessaires pour les observations microscopiques. Le matériel utilisé est la boussole, le mètre ruban, le marteau et la carte topographique.

Photo interprétation

Elle utilise les photos aériennes et un stéréoscope pour ressortir les linéaments (lignes résultant des alignements morpho-structuraux, des alignements naturels d'arbres, de la disposition des branches des cours d'eau du réseau hydrographique ou de la rectitude des contours géomorphologiques), base de l'établissement de la carte linéamentaire et de fracturation, nécessaire aux traînées et sondages géophysiques.

Méthodes géoélectriques

Après la mise en évidence grâce à la cartographie et la photogéologie des grandes

structures (fractures) et en fonction de la morphologie du site, la géophysique peut se mettre en place directement sous forme de profilage (traînée) et de sondage électriques qui permettent respectivement de relever les anomalies latérales et verticales du sol. Le dispositif utilisé est conforme à la norme Schlumberger.

La méthode géoélectrique consiste brièvement à injecter dans le sol un courant continu par l'intermédiaire de deux électrodes A et B (extérieures dites électrodes de courant) et à mesurer la différence de potentiel aux bornes de deux électrodes M et N (intérieures dites électrodes de potentiel). Connaissant le facteur de forme K (distance entre les différentes électrodes), on arrive à déterminer la résistivité apparente des formations géologiques sous-jacentes et à apprécier leurs variations latérales. Les forages existants servent de calage.

Méthodes d'analyse physico-chimique des eaux souterraines

La technique d'échantillonnage sur le terrain a consisté au rinçage trois fois des bouteilles PVC de 0,50l préalablement lavées et nettoyées à l'eau distillée avec l'eau à prélever et au prélèvement de deux échantillons d'eau par point; un des échantillons est filtré et le filtrat a reçu 1,5ml d'acide nitrique à 0,1N (pour stabiliser les métaux lourds) et l'autre est destiné à l'analyse des anions. Les échantillons remplis à ras bords ont été refermés et soigneusement rangés dans un carton, puis acheminés au laboratoire dans les 48 heures qui ont suivi.

Les différentes méthodes utilisées pour la détermination des teneurs des éléments chimiques sont : la méthode volumétrique pour le dosage des éléments Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , HCO_3^- ; la méthode colorimétrique pour le dosage du Fe^{3+} , SiO_2 , Al^{3+} et le dosage par émission de flamme des éléments Na^+ et K^+ . Les analyses ont été effectuées au Laboratoire de Chimie Minérale de l'Université de Yaoundé 1 bien équipé à cet effet.

RESULTATS

Données pétrographiques

Les observations de terrain ont permis de distinguer les formations de socle et les formations volcaniques de couverture. Les formations de socle représentent environ 2/5

de la superficie et sont constituées de roches orthodérivées et des roches franchement métamorphiques.

Les roches orthodérivées ; les orthogneiss

Les orthogneiss sont des roches dont le caractère métamorphique n'est lié qu'à l'orientation préférentielle de certains minéraux. Ils se subdivisent en orthogneiss à mégacristsaux de feldspath et en orthogneiss à grain fin. La texture est granoblastique hétérogranulaire. L'association minérale caractéristique est la suivante : Quartz-Orthose-Microcline-Biotite-Amphibole-Plagioclase-Apatite-Sphène.

Les roches franchement métamorphiques

Les roches franchement métamorphiques sont représentées par les migmatites, les gneiss, les amphibolites traversés par des filons :

- les migmatites présentent un leucosome, un mélanosome, et un mésosome avec parfois un aspect rubané de type litage compositionnel. La texture est granoblastique. L'association minérale caractéristique est la suivante : Quartz-Orthose-Microcline-Amphibole-Biotite-Plagioclase-Zircon. Les marques de la déformation sont généralement enregistrées par le quartz en ruban et par la biotite.

- les gneiss présentent une alternance plus ou moins nette de lits clairs millimétriques riches en quartz et feldspath et des lits sombres plurimillimétriques riches en minéraux ferromagnésiens. La texture est granoblastique hétéro-granulaire orientée. L'association minérale est constante : Quartz-Feldspath alcalin-Plagioclase-Hornblende-Biotite qu'accompagnent Apatite-Sphène et minéraux opaques. La déformation est marquée par des sigmoïdes de feldspath et d'amphibole, la biotite, des rubans de quartz orientés dans le plan de la foliation.

- les amphibolites sont des roches sombres à texture granoblastique à grain moyen présentant une orientation préférentielle des minéraux (amphibole, feldspaths et quartz).

- les filons traversent les formations encaissantes (gneiss, migmatites, amphibolites, et orthogneiss). Ce sont des filons aplitiques d'épaisseur centimétriques et des filons pegmatitiques d'épaisseur centimétrique à décimétrique.

Les formations volcaniques représentent environ 3/5 des hauts plateaux de

l'Ouest. On distingue basaltes (sub-aphyriques et porphyriques), phonolites, trachytes, rhyolites, tufs et ignimbrites.

Les basaltes sub-aphyriques sont les plus nombreux. Leur cassure est franche et leur texture microlitique à tendance fluidale. La mésostase représente 85% du volume de la roche et le verre 15%. Les minéraux constitutifs sont : olivine, pyroxène, plagioclase et opaques. Ces basaltes renferment de nombreuses géodes (pouvant atteindre plusieurs centimètres de diamètre) à cristallisation secondaire de quartz, calcite et zéolite qui se retrouve également dans les fissures et micro-fissures qui parcourent ces laves.

Les basaltes porphyriques ont une cassure de type ovoïde et leur texture est microlitique porphyrique à tendance fluidale. Les phénocristaux dont la taille est comprise entre 1,5 et 6 mm sont constitués de plagioclase, d'olivine et de pyroxène qui occupent 3 à 25% du volume de la roche. La mésostase (75 à 97%) contient le plagioclase, l'olivine, le pyroxène et les minéraux opaques. La cristallisation secondaire n'est pas ici aussi accentuée que dans le type aphyrique.

Les phonolites ont une texture microlitique sub-porphyrique à tendance fluidale. Les phénocristaux représentent 8 à 15% de la roche et sont formés de feldspath alcalin, plagioclase, clinopyroxène, et parfois amphibole. La mésostase représente 85 à 92% du volume de la roche et montre dans une matrice dévitrifiée des baguettes de feldspath, de microcristaux de clinopyroxène, de biotite, d'amphibole, et d'oxydes.

Les trachytes ont une texture microlitique porphyrique. Les phénocristaux représentent 20 à 25% du volume de la roche et sont formés de feldspath, clinopyroxène, et amphibole alors que la mésostase (75 à 80% du volume total de la roche) est constituée de fins cristaux des mêmes minéraux.

Les tufs ont un aspect pulvérulent et se sont parfois consolidés à chaud pour former les ignimbrites s.s. (Nono et al., 2003). Les ignimbrites ont une texture vitroclastique ; les phénocristaux sont ceux de feldspath alcalin et quartz dans une matrice très dévitrifiée constituée de microflames, de quartz et de feldspath.

Les rhyolites ont une texture microlitique porphyrique. Les phénocristaux représentent 5 à 10% du volume de la roche et sont constitués de feldspath alcalin, et quartz. La mésostase représente 90 à 95% et montre de fins cristaux de feldspath et d'opaques.

Données structurales

Analyses linéamentaire et morphostructurale

Dans le secteur SW des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun, l'analyse morphostructurale montre qu'en général les vallées et les collines sont allongées suivant les mêmes directions à savoir : NE-SW, NW-SE et E-W. Ceci permet de dire que la tectonique a influencé de façon considérable le tracé du réseau hydrographique et le façonnement de l'orographie.

La photo interprétation a permis de mettre en évidence dans ce secteur des hauts plateaux de l'Ouest l'existence des linéaments kilométriques qui correspondent sur le terrain à la rectitude des contours géomorphologiques et à la disposition du réseau hydrographique. La rosace des directions linéamentaires met en évidence trois directions principales (N70-80°E, N130-140°E, N50-60°E) et cinq directions secondaires (N100-110°E, N110-120°E, N120-130°E, N20-40°E, et N140-150°E). La rosace de direction de longueur cumulée montre trois directions majeures à savoir N70-80°E, N20-40°E, N120-140°E et deux directions secondaires N40-60°E, et N140-160°E (Figure 2).

Éléments structuraux (Données de terrain)

Les éléments structuraux concernent les formations du socle et on peut distinguer :

- la foliation qui résulte de l'alternance des lits clairs et des lits sombres dans les formations métamorphiques a une orientation allant de N25°E à N75°E et de pendage 30-40° vers le Sud et Sud-Ouest.
- la schistosité a des orientations allant de N-S à N60°E avec des pendages variant de 30 à 90° vers le SSW, SW et ESE.
- les plis reprennent en général la schistosité, leurs axes sont orientés N30-40°E, N60-70°E, avec des plongements variant de 20 à 30° vers le S et le WSW.
- les diaclases ont deux faisceaux de directions à savoir N20-50°E et N80-130°E qui s'apparentent bien aux directions des linéaments.

L'analyse linéaire et morpho-structurale permet de constater que les accidents tectoniques orientés N70-80°E,

N20-40°E et N150-160°E ont été les plus fréquents et les plus intenses. Ces orientations concordent avec les directions des grands

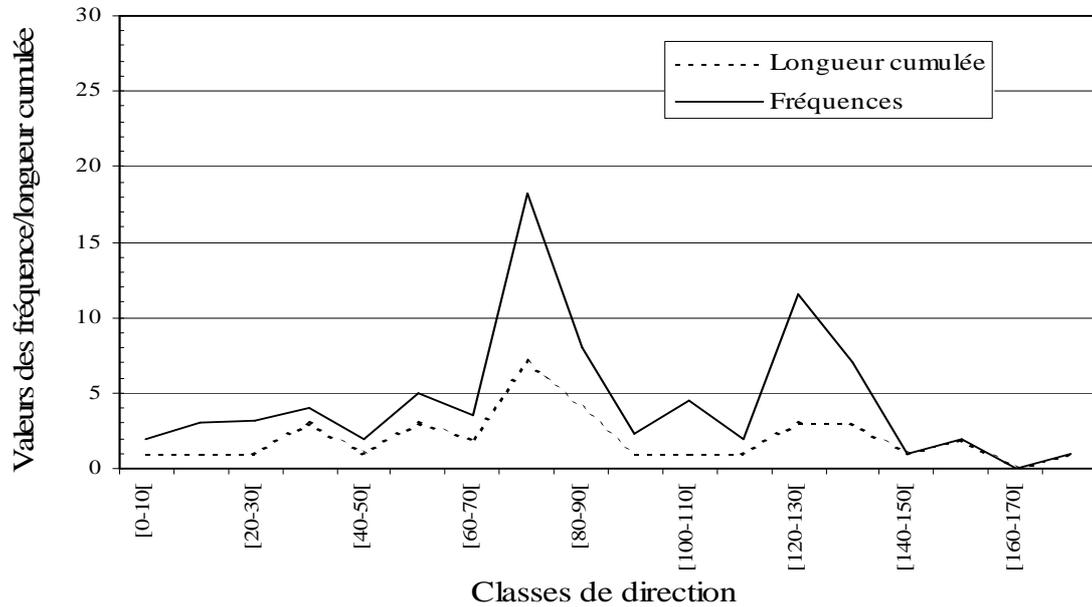


Figure 2 : Directions structurales majeures dans les Hauts Plateaux de l'Ouest-Cameroun.

Tableau 1 : Données de foration.

Localité	Arrondissement	Département	Coordonnées GPS, Forage	Lithologie	Profondeur (m) forage	Epaisseur altérite (m)	Débit (m ³ /h)
Bakouké	Mbouda	Bamboutos	N: 05°38,769' E: 10°09,879'	Basalte	51,5	23	0,9
Poango	Banka	Haut Nkam	N: 05°09,443' E: 10°12,009'	Basalte	28,5	7	0,75
Famgham	Bandja	Haut Nkam	N: 05°17,886' E: 10°13,942'	Granite	38	10	3,5
Bafou (Melekouet)	Dschang	Menoua	N: 05°30,898' E: 10°07,203'	Basalte	81,5	14	2,4
Nzenla	Dschang	Menoua	N: 05°23,902' E: 09°58,179'	Granite	45	5	0,8
Bamelieu	Nkongni	Menoua	N: 05°31,134' E: 10°05,455'	Basalte	51	22	2
Fokamezo	Nkongni	Menoua	N: 05°24,748' E: 10°08,108'	Basalte	47,2	30	3,3
Bamendou	Penka Michel	Menoua	N: 05°24,779' E: 10°09,299'	Granite	30	25	3,6
Banie-Baloum	Penka Michel	Menoua	N: 05°22,633' E: 10°11,459'	Granite	61,5	25	0,7
Fondjo-menkouet	Bandja	Haut Nkam	N: 05°17,530' E: 10°11,855'	Granito-gneiss mylonitise	32	20	20

accidents régionaux à savoir la Ligne du Cameroun (N20-30°E) et les décrochements dans le domaine centre de la chaîne panafricaine nord équatoriale (N30°E et N70°E) (Nzenti et al., 1994; Nzenti et Tchoua, 1996). Ces accidents sont des points de vulnérabilité qu'empruntent les eaux au cours de l'altération des roches et sont d'un grand intérêt pour la productivité des aquifères dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun (Nono et al., 2004b).

Données géophysiques et résultats de foration

La prospection géophysique a permis d'obtenir les résistivités apparentes dont les valeurs oscillent entre 30 et 3740 Ω .m. Ces variations des résistivités permettent de subdiviser la région d'étude en quatre couches :

- Une couche moins résistante entre 1 et 25 m de profondeur ; qui correspondrait à la couche d'altération,
- Une couche résistante entre 25 et 35 m de profondeur ; qui serait le toit de l'aquifère,
- un terrain conducteur localisé entre 35 et 70 m de profondeur; qui correspondrait à l'aquifère,
- un terrain compact localisé entre 70 et 120 m de profondeur ; qui correspondrait au mur de l'aquifère.

Les résultats des travaux de foration présentés dans le tableau 1 montrent de façon générale que la couche d'altération évolue jusqu'à une profondeur de 30 m dans la zone de Dschang (localité de Fokamezo) sur des formations basaltiques. Les forages réalisés dans la région d'étude présentent des débits généralement inférieurs à 8 m³/h. Néanmoins, on a exceptionnellement obtenu un débit de 20 m³/h dans la zone de Bandja dans un forage réalisé sur le socle granito-gneissique bien mylonitisé.

Aperçu minéralogique et géochimique

Les données minéralogiques et géochimiques nous permettront de comprendre l'origine des éléments chimiques majeurs dans les eaux souterraines.

Le tableau 2 montre que dans l'ensemble, la teneur en SiO₂ varie de 42 à 75% d'un faciès à un autre, celle en Al₂O₃ de 11 à 16%, celle des alcalino-terreux (FeO +

CaO + MgO) de 35 à 2%, alors que celle des alcalins (Na₂O + K₂O) varie de 4 – 11%).

Les granitoïdes montrent une évolution typique calco-alcaline marquée par une large gamme de variation dans la composition chimique: 48-76% SiO₂, 5-10% CaO, 4-10% (Na₂O + K₂O), 0-12% (Fe₂O₃), 0-2% TiO₂. P₂O₅ et MnO ont des valeurs inférieures à 1% (Talla, 1995; Kwékam, 2005).

Les roches plutoniques ont une tendance alcaline à hyper-alcaline (présence d'aegyrine et d'arfvedsonite) et présentent une variation significative de concentrations en éléments majeurs des dolérites aux granites : 50-72% SiO₂, 11-16% Al₂O₃, 1-9% Fe₂O₃, 4-0% MgO, 9-0% CaO, 5-11% (Na₂O + K₂O) (Wouatong, 1998).

Les roches volcaniques de couverture qui affleurent largement sur les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun (surtout dans les Monts Bambouto, Bana et Bangou), sont comme les roches plutoniques, alcalines à hyperalcalines, mais avec une affinité transitionnelle aux Monts Bangou et Bana (Fosso et al., 2005; Kuepou et al., 2006). Elles présentent une large variation de composition minéralogique des roches mafiques aux roches felsiques : olivine + augites + plagioclase (bytownite) dans les basaltes alcalins, puis plagioclase (bytownite, labrador, andésine) + pyroxène (salite, augite) + rares cristaux d'olivine dans les hawaïtes et enfin plagioclase (labrador, andésine, oligoclase, albite) + pyroxène (augite, aegyrine) + k-feldspath (sanidine, anorthose) + rares cristaux d'amphibole et biotite dans les laves felsiques. La distribution des éléments majeurs largement influencée par le fractionnement des minéraux sus-cités montre également une large variation des basaltes aux rhyolites : 42-75% SiO₂, 16-11% Al₂O₃, 15-1% Fe₂O₃, 12-0% MgO, 11-0% CaO, 3-11% (Na₂O + K₂O) (Marzoli et al., 1999, 2000; Fosso et al., 2005).

Dans l'ensemble, les formations géologiques des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun ont des teneurs en P₂O₅ entre 2% dans les roches basiques à presque 0% dans les roches acides. Les teneurs en MnO et CO₂ sont faibles (\leq 1%), mais CO₂ atteint 2% dans certains trachytes des Monts Bambouto (Nni et Nyobe, 1995).

Les analyses chimiques (Talla, 1995; Kwékam, 2005) montrent que les roches du socle présentent des éléments majeurs

Tableau 2: Analyses chimiques des roches représentatives des Hauts Plateaux de l'Ouest-Cameroun: Région de Dschang-Bambouto.

Roches	Hawaïtes			Basaltes			Trachyte			Rhyolite		Orthogneiss			Granites	
Echantillon	F55	F56	CA54	CA40	F54	F51	Tap1	F59	CA24	F57	CA65	K513	SAFP	X30	GD09	SAG12
SiO ₂ Wt%	48,95	47,86	42,38	47,32	46,39	46,09	43,63	67,68	68,87	74,71	67,09	56,66	65,77	71,27	68,8	69,33
TiO ₂	2,89	2,92	4,24	2,87	3,64	3,60	2,86	0,29	0,86	0,21	0,36	1,86	0,47	0,37	0,46	0,54
Al ₂ O ₃	14,91	16,00	12,79	15,27	13,41	14,78	12,87	14,26	12,70	10,75	14,61	15,86	14,82	13,67	15,2	14,07
Fe ₂ O ₃ *	13,73	12,84	12,30	11,28	15,05	8,80	13,14	0,95	5,92	3,92	6,31	8,73	5,31	3,70	3,34	4,85
MnO	0,18	0,15	0,19	0,18	0,23	0,09	0,20	0,04	0,23	0,07	0,12	0,09	0,09	0,04	0,03	0,03
MgO	3,49	5,84	11,54	7,23	4,61	3,20	11,41	0,02	0,35	0,06	0,05	3,02	1,46	0,34	0,57	0,51
CaO	7,79	8,35	11,63	10,39	9,18	5,27	10,62	1,13	0,24	0,01	2,21	4,98	3,69	1,34	1,76	1,51
Na ₂ O	3,16	3,42	2,69	3,48	3,29	3,49	3,06	3,27	5,89	3,88	3,72	3,60	3,08	3,25	3,54	3,13
K ₂ O	1,88	1,19	1,30	1,19	1,01	2,67	1,06	6,09	4,90	4,63	5,43	3,89	4,76	5,22	5,45	5,52
P ₂ O ₅	0,85	0,76	0,94	0,49	1,79	0,43	0,72	0,04	0,05	0,02	0,10	0,73	0,14	0,12	0,18	0,17
L.O.I.	1,86	0,36	2,18	1,43	1,10	1,19	0,41	3,84	1,07	1,49	1,47					
Total	99,69	99,71	100,00	99,70	99,70	99,77	99,98	99,32	100,00	99,75	100,00	99,97	99,97	99,33	99,36	99,67
K ₂ O/Na ₂ O	0,59	0,35	0,56	0,34	0,30	0,70	0,34	1,8	0,80	1,10	1,46	1,08	1,54	1,63	1,6	1,76
K ₂ O+Na ₂ O	5,04	4,61	4,99	4,67	4,30	6,16	4,12	9,30	10,79	8,51	9,15	7,49	7,84	8,47	8,47	8,65
Ba ppm	612	409	655	387	332	251	574	1561	50	40,2	1091	1815	2239	580	1304	765
Cr	17,6	78,6	356	338	15,4	24,5	310	tr		8,26		20	<20	33	13	49
Ga	28,2	24,9			24,6	24,5	16	32,4		3,33		21	14	17	23	19
Hf	8,24	5,35			5,34	4,4	4,8	17,5		22,2						
Nb	37,6	27,8	71	59	28,4	23,1	60	74,9	254	99,1	85	41	8	7	19	<4
Ni	25,9	71,7	183	189	16,1	19,1	220	1,91		11,5		30	<20	4	5	<3
Rb	50,7	29,1	32	32	23	13,1	43	152	148	137	136	152	65	295	195	211
Sr	545	528	1643	610	537	529	821	136	9	2,42	102	682	407	138	279	186
Ta	2,71	2,11			2,24	1,79	4,3	17,5		7,86						
Th	5,36	3,29			3,47	2,30	4,7	17,1		18,4				48		24
V	208	215			229	279	239	0,42		0,01		90	54	27	19	37
Y	42	28,5	34	33	42,8	27,9	27	67,2	80	71	97	23	29	9	10	7
Zn	156	1,30			152	129	90	131		144		120	50	51	83	51
Zr	348	237	151	243	225	209	201	686	1573	824	1208	646	112	217	336	283

La ppm	49,87	32,81	49,85	37,35	39,45	24,59	47,4	104,9	157,9	102,6	131		112	112
Ce	105,7	71,6	105,5	76,25	91,28	54,05	93,3	198	324,5	207,5	257		175	151
Pr	13,07	9,05			11,91	7,07	10,1	23,04		23,32				
Nd	55,9	39,82	57,21	37,95	54,67	31,93	42,8	90,1	130,1	92,76	128		59	<4
Sm	11,87	8,67	11,99	8,10	13,7	7,75	9	17,72	24,26	18,46				
Eu	3,54	3,13	3,91	2,52	4,28	2,65	2,86	3,93	2,90	3,93				
Gd	10,15	7,36	8,78	6,70	11,3	6,74	7,4	14,24	17,90	15,17				
Tb	1,58	1,1			1,63	1,04	1,1	2,18		2,39				
Dy	8,43	5,79	5,87	5,44	8,88	5,56	5,6	12,4	14,80	14,03				
Ho	1,75	1,18			1,68	1,13	0,9	2,66		2,93				
Er	3,82	2,46	2,47	2,47	3,71	2,50	2,4	6,15	7,57	6,8				
Tm	0,54	0,49			0,49	0,35	0,32	0,93		1				
Yb	3,48	2,16	2,01	2,05	3,03	2,11	1,8	5,92	7,71	6,42				
Lu	0,46	0,30	0,26	0,30	0,42	0,30	0,25	0,90	1,20	0,99				

Région de Dschang-Bambouto. K513 et SAFP (orthogneiss), GD09 (Granite); Kwékam, 2005, CA54 et CA40 (basaltes), CA24 (Trachytes); Marzoli et al. (1999, 2000), Tap1 (Basalte), Nono et al., 2008, Région de Batié; X30 et SAG12 (Granites); Talla, 1995, Région de Bangou-Bandjoun ; F54 et F51 (basaltes), F55 ET F56 (Hawaïtes), F59 (Trachyte) et F57 (Rhyolite), Fosso, 2005, CA65 (Rhyolite); Marzoli et al., 1999. tr : traces.

Tableau 3 : Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de sources dans les hauts plateaux de l'Ouest. (Niveau d'aménagement: SA: Source aménagée; SNA: Source non aménagée; SSA: Source Sommairement aménagée).

Ech	Niv Am	Faciès	T Lab. 25° in situ	pH 6,5 à 8,5	Cond.	TDS	Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	SiO ₂	Fe ³⁺
					µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Normes					2000	1245	200	290	200	150	250	150	Abscence	0,3
O.M.S.					max	max	max	max	max	max	max	max		max
S1	SA	β ap	28,5	6,5	37,46	59,88	2,34	1,31	0,4	2,25	14	24,4	14,90	0,28
S2	SA	β ap	28,5	6,5	138,15	238,27	4,28	1,09	8,88	2,25	16,8	92,72	112	0,25
S3	SA	β ap	29	5,02	18,62	49,24	0,99	0,01	0,24	1,65	16,8	12,2	17,1	0,25
S4	SNA	β ap	28,5	5,27	22,57	41,48	1,40	0,56	0,64	0,32	1,61	17,08	16,62	3,25
S5	SNA	β ap	29	5,17	24,10	82,45	11,53	0,03	0,24	2,02	18,46	17,08	32,98	0,11
S6	SNA	β ap	28,5	5,35	16,99	49,85	0,81	0,03	0,64	1,3	19,88	14,64	12,03	0,52

S7	SNA	β ap	/	6	/	132,14	2,2	0,14	3,61	2,92	42,55	61,01	19,7	<0,01
S8	SNA	β ap	/	6	/	118,41	0,95	0,14	3,21	2,43	38,37	61,01	12,29	<0,01
S9	SNA	β ap	/	6,5	/	132,14	2,2	0,14	3,61	2,92	42,55	61,01	19,7	<0,01
S10	SNA	β ap	/	6,5	/	120,26	2,4	0,14	2,81	2,43	35,46	61,01	16	<0,01
S11	SNA	β ap	/	6	/	97,7	2;20	0,14	4,01	2,43	28,37	48,41	12,13	<0,01
S12	SSA	β ap	28,5	4,93	34,9	87,66	4,6	1,95	1,20	0,72	18,10	2,72	58,35	0,028
S13	SSA	β ap	28,5	4,86	28,00	57,8	1,63	7,82	3,56	0,60	17,04	2,32	23,18	1,65
S14	SA	β ap	29	4,78	14,48	79,17	1,12	0,31	1,16	0,29	51,12	1,54	23,55	0,08
S15	SA	β ap	29,5	5,01	24,62	133,02	1,70	0,15	1,20	1,36	25,5	62,32	40,74	0,056
S16	SSA	β por	28,5	5,04	62,75	104,39	5,06	2,15	2,48	2,74	24,14	6,18	59,85	1,79
S17	SA	β por	/	6	/	105,22	0,95	0,14	3,61	0,73	56,74	36,61	6,43	<0,01
S18	SA	β por	/	6	/	113	1,78	0,48	2,81	1,95	49,64	48,81	7,42	0,11
S19	SNA	β por	/	6	/	76,18	0,74	0,14	2,00	0,97	28,37	36,61	7,34	<0,01
S20	SA	β por	28,5	4,96	15,57	31,47	1,44	1,09	0,32	0,46	17,04	7,32	3,80	0,00
S21	SSA	β por	28,5	5,28	22,52	61,35	1,71	0,10	1,2	1,63	19,6	14,6	20,3	2,21
S22	SA	β por	29	5,93	19,15	44,45	0,72	0,94	0,48	1,15	21	7,32	12,7	0,14
S23	SSA	β por	28,5	5,50	14,97	64,68	0,92	0,63	0,52	11,11	11,20	7,32	31,50	1,48
S24	SA	β por	28,5	5,52	21,95	56,94	0,95	0,25	0,52	1,6	15,40	12,20	24,2	1,82
S25	SA	β por	28,5	5,54	21,37	65,04	1,26	0,86	0,64	1,6	19,6	14,64	25,10	1,34
S26	SA	β por	28	5,33	16,87	54,60	1,13	2,98	0,36	1,05	19,6	7,32	20,4	1,76
S27	SSA	β por	28	5,15	24,29	61,63	1,13	0,41	0,24	2,18	18,20	17,08	20,60	1,79
S28	SSA	phon	28,5	4,31	20,78	53,96	1,31	0,3	0,4	1,51	11,20	12,20	25,60	1,44
S29	SA	phon	28,5	4,20	17,98	59,23	1,17	0,71	0,60	1,20	15,40	9,76	30,20	0,25
S30	SSA	orthg	29	4,99	19,75	55,71	1,53	1,92	0,4	0,77	21,3	0,76	28,89	0,14
S31	SNA	orthg	28,5	5,03	21,76	69,57	1,58	1,77	0,2	0,89	19,88	12,20	32,92	0,13
S32	SNA	orthg	28,5	5,21	31,98	99,66	2,89	1,47	0,2	2,18	24,14	21,96	43,12	3,70
S33	SNA	orthg	28,5	5,26	31,10	76,62	2,70	1,47	1,16	1,66	19,88	19,52	27,25	2,98

S34	SNA	orthg	29	5,33	23,10	68	1,44	0,63	0,56	1,82	18,46	17,08	24,74	3,27
S35	SA	orthg	28,5	5,15	89,30	78,13	7,04	2,00	3,16	3,58	28,30	18,08	15,91	0,06
S36	SNA	orthg	/	6,5	/	138,2	3,24	1,18	5,21	4,38	28,37	73,21	22,6	<0,01
S37	SSA	orthg	/	6,5	/	138,95	4,07	0,14	8,42	5,11	28,37	73,21	19,62	<0,01
S38	SSA	orthg	28,5	4,91	13,13	44,7	1,15	1,36	1,20	0,48	15,62	1,16	22,89	0,84
S39	SNA	orthg	28,5	5,10	19,35	53,02	1,15	0,93	1,28	0,63	24,14	1,16	15,50	0,42
S40	SNA	orthg	28,5	5,29	39,55	87,7	3,68	1,75	2,96	3,13	17,04	3,48	53,42	2,24
S41	SNA	orthg	28,5	5,28	42,13	135,24	5,29	2,15	1,20	1,43	14,2	4,25	105,83	0,89
S42	SNA	orthg	28,5	5,39	48,00	108,59	4,14	1,29	3,12	2,25	25,56	4,25	63,28	4,70
S43	SNA	orthg	28,5	5,41	31,98	67,57	2,64	0,62	1,56	1,87	12,78	2,32	41,16	4,62
S44	SNA	orthg	29	5,46	31,72	73,08	1,70	0,15	1,20	1,36	25,56	2,32	40,74	0,05
S45	SSA	gniess	/	6,5	/	121,41	2,82	0,48	5,61	3,89	21,28	61,01	26,31	<0,01
S46	SSA	gniess	28,5	5,33	31,95	63,85	2,57	1,17	2,08	1,46	17,04	21,96	16,07	1,50
S47	SSA	β ap	23,1	6,5	48,9	34,3	2,8	1,5	9	4	0,1	10,9	/	1
S48	SSA	β ap	22,7	6,5	55,7	32,6	3	1,5	10	5	0,1	7,02	/	0,9
S49	SNA	β ap	18,2	5,8	73,8	37,3	3	1,5	11	2	6,5	6,1	/	0,1
S50	SSA	β ap	17,3	5,3	71,3	20,1	1,1	0,7	6	1	0,1	6,1	/	0,1
S51	SSA	β ap	19	6,5	41	41	1	2	10	1	0,1	21	/	0,1
S52	SNA	granite	20,5	6,3	68,5	40,7	1,6	2,5	9	1	0,1	21,4	/	0,1
S53	SNA	granite	19,8	6,4	54,9	41,1	1,3	2,25	9,5	1,5	0,1	21,4	/	0,1
S54	SSA	trachyte	22	6,6	28	35,2	3	3	0,1	0,1	0,1	24	11	0,02
S55	SSA	trachyte	23	6,5	25	34,4	3	2	0,2	0,1	0,1	24	18	0,02
S56	SNA	ignim	23	6,9	17	22,9	1	1	0,3	0,5	0,1	15	20	0,02
S57	SSA	β ap	22	6,2	19	27,7	2	0,1	0,3	0,4	0,1	20	9	0,02
S58	SNA	rhyolite	21	6,3	20	24,6	2	2	0,3	0,2	0,1	15	14	0,02

β ap = basalte aphyrique, β por = basalte porphyrique, phon = phonolite, orthg = orthogneiss, ignim= ignimbrite.

Tableau 4: Résultats d'analyses physico-chimiques des eaux de forages dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun.

Echantillons	lithologie	T°C	pH	Cond (µS/cm)	TDS mg/l	Na+ mg/l	K+ mg/l	Ca2+ mg/l	Mg2+ mg/l	Cl- mg/l	HCO3- mg/l	SiO2 mg/l	Fe3+ mg/l
BAMENDOU	Granite	23,1	5,9	42,5	50	0,4	0,1	1	0,25	0,3	21	nd	0,63
BANI-BALOUM	Granite	22,9	5,7	35,8	85	0,4	0,1	1	0,19	0,1	20	nd	0,02
NZENLA	Granite	23	5,6	172,3	141	1,7	0,4	5,1	1,53	2	130	nd	0,08
BAMELIEU	Basalte	23	6,01	118,5	101	1,1	0,3	3	0,96	1,5	88	nd	0,2
FOKAMEZO	Basalte	23,1	5,9	114,3	208	1,8	0,2	3	0,76	1,3	75	nd	0,3
POANGO	Basalte	23	5,8	124,8	226	0,3	0,1	0,7	0,12	0,1	10	nd	1,01
MELEKOUET	Basalte	23,1	5,49	340	418	1,4	0,5	3	0,68	1,8	100	nd	0,81
BOKOTIO	Basalte	23,5	4,72	480	587	1,8	0,5	18,7	6,45	11,4	170	nd	0,16
FAMGHAM	Granite	24,9	6,18	280	143	1	0,2	12,8	3,35	5,5	110	nd	0,36
FONDJO-MENKOUET	Granito-gneiss	24,9	6,07	347	235	1,1	0,3	15,7	4,53	7,2	120	nd	0,04

Cond= conductivité, TDS= solides totaux dissous, nd= non déterminé.

suivants, par ordre de dominance décroissante : SiO₂, Al₂O₃, Na₂O, Fe₂O₃ et K₂O. Ces roches ont des teneurs en silice supérieures à 50%. Le rapport MgO/CaO <1 traduit une abondance en Ca et concorde avec le fractionnement des minéraux calciques. Le rapport (MgO+CaO)/(Na₂O+K₂O) dans les roches franchement métamorphiques, est supérieur à 1, ce qui justifie la présence des minéraux ferromagnésiens (biotites), alors que dans les orthogneiss, ce rapport est inférieur ou égal à 1, ce qui concorde avec la prédominance dans ces formations des minéraux sodi-potassiques sur les minéraux ferromagnésiens.

En ce qui concerne les roches volcaniques, les analyses chimiques montrent que les formations basaltiques sont riches en Mg, Ca, Fe, et moins riches en Na, K. alors que les formations acides ont des teneurs en SiO₂ plus élevées, ainsi que celles en K₂O et Na₂O pour des teneurs en MgO et CaO très faibles.

Etude hydrochimique des eaux souterraines

Elle porte sur les eaux de 58 sources (S1 à S58) et 10 forages. Ces sources sont classées suivant le niveau d'aménagement à savoir les sources aménagées (SA), les sources sommairement aménagées (SSA) et les sources non aménagées (SNA). Ainsi 20

sources sur socle (15 sur orthogneiss, 2 sur gneiss, 3 sur granite) et 38 sources sur couverture volcanique (32 sur basaltes, 2 sur phonolites, 2 sur trachytes, 1 sur ignimbrite, 1 sur rhyolite) pour lesquels 17 aménagées, 18 sommairement aménagées et 23 non aménagées ont été analysées (Tableau 3).

- Les analyses chimiques des eaux de sources et de forages étudiées représentées respectivement dans les tableaux 3 et 4, ont été reportées dans le diagramme de Piper (1944), il en ressort quatre faciès chimiques (Figure 3):

- Le faciès des eaux chlorurées calciques et magnésiennes, 57% (soit 33 sources) ;
- le faciès des eaux bicarbonatées calciques et magnésiennes, 24% (soit 14 sources) ;
- le faciès des eaux chlorurées calciques et potassiques, 9% (soit 5 sources).
- le faciès des eaux bicarbonatées sodiques et potassiques, 10% (soit 6 sources).

Globalement, les eaux sources ont une tendance chlorurée (soit 66%), et une tendance calcique et magnésienne (soit 81%), comparées aux sources thermominérales de la Ligne du Cameroun (Le Maréchal, 1974) qui sont plutôt bicarbonatées, sodiques et potassiques.

Les eaux des forages quant à elles présentent toutes un faciès bicarbonaté calcique et magnésien.

Les eaux des sources et des forages analysées sont en général faiblement minéralisées (≤ 587 mg/l); les plus minéralisées ont les valeurs de conductivité les plus élevées. La minéralisation semble plus ou moins liée aux faciès pétrographiques, puisque des trente deux sources les plus minéralisées (61,63 à 238,27 mg/l), dix-huit se trouvent dans les basaltes (10 sur basalte aphyrique et 8 sur basalte porphyrique), quatorze dans le socle (12 sur orthogneiss et 2 sur gneiss). Cependant, les moins minéralisées (20,1 à 59,88 mg/l) se trouvent indifféremment dans les orthogneiss, les phonolites et les basaltes aphyriques ou porphyriques. La source la plus minéralisée (238,27 mg/l) se trouve sur basalte aphyrique, alors que la moins minéralisée (31,47 mg/l) se trouve sur basalte porphyrique.

Le forage le plus minéralisé (587 mg/l) a été réalisé sur les formations basaltiques, tandis que le moins minéralisé se trouve sur le socle (granite). Les eaux des forages sont dans l'ensemble plus minéralisées et présentent les valeurs de conductivité les plus élevées.

Toutes les concentrations des éléments chimiques sont conformes aux normes O.M.S., à l'exception de la silice présente dans toutes les sources et du fer dont la teneur est supérieure à 0,3 mg/l dans 5 sources (4 dans les orthogneiss et 1 dans le basalte aphyrique).

DISCUSSION

Dans notre secteur comme sur l'ensemble des Hauts plateaux, les formations métamorphiques sont subordonnées aux formations volcaniques (2/5 de la superficie contre 3/5) alors que sur l'ensemble du territoire camerounais les formations métamorphiques couvrent les 2/3 de la surface. Ces formations volcaniques par leur relief plus jeune et plus agressif influencent largement les caractéristiques hydrologiques et hydro-géologiques; accélération du ruissellement, limitation des infiltrations sans oublier les faibles minéralisations des sources (au plus 268 mg/l) dues au temps de séjour plus court dans les roches comparée à la situation sur le plateau de l'Adamaoua (jusqu'à 300 mg/l) (Nono and Likeng, 2008).

La fréquence des linéaments et leur importance en longueur cumulée se rapprochent des directions majeures (N-S,

N70°E, E-W et N135°E) proposées par Moreau et al. (1987) pour expliquer la tectonique de la Ligne du Cameroun et de l'Adamaoua. L'analyse linéamentaire et morphostructurale permet de constater que les accidents tectoniques orientés N70-80°E, N20-40°E et N150-160°E ont été les plus fréquents et les plus intenses. Ces orientations concordent avec les directions des grands accidents régionaux à savoir la Ligne du Cameroun (N20-30°E) et les décrochements dans le domaine centre de la chaîne panafricaine nord équatoriale (N30°E et N70°E) (Nzenti et al., 1994; Nzenti et Tchoua, 1996). Ces accidents sont des points de vulnérabilité qu'empruntent les eaux au cours de l'altération des roches qui oriente la formation des reliefs et sont d'un grand intérêt pour la productivité des aquifères dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun (Nono et al., 2004b).

Les données de foration montrent que les débits les plus élevés sont obtenus dans les mylonites (roches les plus fracturées), mais aussi dans les formations volcaniques tufacées (Nono et al., 2006); ces résultats ressortent de façon précise l'influence des fractures et de la lithologie sur la dynamique des eaux souterraines.

De l'esquisse géochimique et minéralogique, il apparaît que dans les hauts plateaux de l'Ouest, les éléments chimiques les plus dominants dans les roches sont: SiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO, Fe₂O₃, Na₂O et K₂O; ces éléments sont contenus dans les minéraux ferromagnésiens (olivine, pyroxène, biotite) et des minéraux blancs (plagioclase, sanidine, anorthose, orthose).

Les diagrammes d'équilibre ont permis de mettre en évidence un éloignement des sources étudiées de la courbe d'équilibre de Werner et Giggensbach (1988), un rapprochement de la chimie des sources (rapports cationiques) de celle de la roche hôte (source des ions) et un état d'équilibre entre les eaux de sources et les minéraux secondaires (ou d'altération) caractéristiques des zones tropicales (kaolinite plus abondant, montmorillonite, Ca zéolite rare) (Figures 3 et 4).

Le déséquilibre entre les cations majeurs des sources et ceux de la roche saine montre que la minéralisation se poursuit et l'état d'équilibre entre sources et minéraux

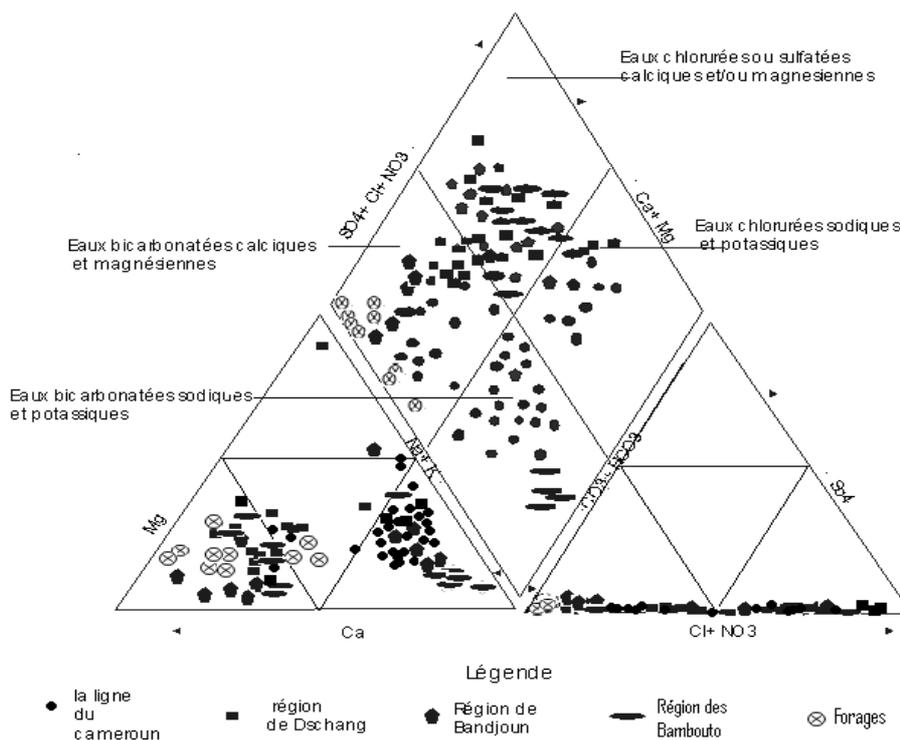
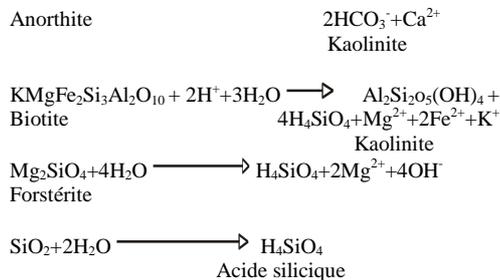
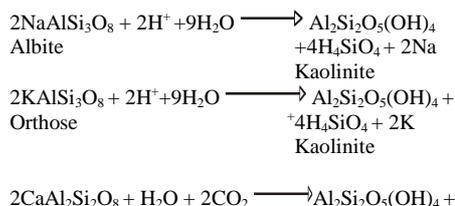


Figure 3: Faciès chimiques des eaux du secteur SW des hauts plateaux de l’Ouest (régions de Dschang et Bandjoun. (Bouopda, 2000 ; Tabué Youmbi, 2000 ; Momeny, 2000 ; Djomou Bouopda, 2002 ; Wabo, 2002) sur socle et β latéritisé et région des Bambouto (Biaya, 2002) sur β et phonolite relativement plus récents) dans le diagramme de Piper (1944), comparés aux faciès des eaux de la Ligne du Cameroun (Le Maréchal, 1974).

d’altération est dû à quelques facteurs physiques internes (température, pH, degré d’aération) du milieu (eau-roche) et à la nature argileuse des minéraux secondaires qui facilitent les échanges ioniques avec l’eau. Les sources de la région des Bambouto (développées sur formations plus récentes et moins altérées) se rapprochent moins de la kaolinite (équilibre moins parfait) que les autres sources qui ont traversé des matériaux plus âgés et plus altérés.

Les équations chimiques suivantes montrent que certains éléments sont facilement mis en solution (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , H_4SiO_4 ...) lors du contact eau – roche saine à travers les fissures.



La minéralisation des eaux souterraines des Hauts Plateaux de l’Ouest bien que faible (moins de 587 mg/l) semble liée aux faciès lithologiques ; les valeurs les plus élevées de minéralisations se trouvant dans les basaltes et les plus faibles indifféremment dans les formations du socle que de la couverture volcanique. Cette différence dans la minéralisation peut s’expliquer par l’âge des formations, les plus âgées étant les plus lessivées. La minéralisation relativement plus élevée dans les forages (nappes profondes) peut certes s’expliquer par le séjour plus long

des eaux, mais surtout par la quasi-inexistence de lessivage et d'adsorption des ions par les minéraux argileux, d'où leur mise en solution facile et leur forte concentration par rapport aux eaux des sources (nappes superficielles) (Nono et al., 2008).

Les ions présents dans les eaux souterraines des hauts plateaux de l'Ouest ont plusieurs origines. Les cations majeurs (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), la silice (H_4SiO_4) et le fer proviennent de la roche saine (roche mère) selon les données géochimiques et les diagrammes d'équilibre. Le fer a des valeurs les plus élevées (3-4,70 mg/l) dans les orthogneiss et non dans les basaltes comme on

se serait naturellement attendu. Les valeurs les plus élevées en silice (jusqu'à 112 mg/l) se trouvent par contre plutôt dans les basaltes aphyriques et non dans les roches felsiques ; cette concentration élevée en silice serait plutôt liée aux phénomènes d'hydrolyse dans les géodes (à cristallisation secondaire de quartz, calcite et zéolite) contenues dans les basaltes et non à leur chimie.

Les anions majeurs tels que le chlore proviendrait principalement des précipitations, l'ion HCO_3^- proviendrait du gaz carbonique (CO_2) des plantes et celui présent dans les profondeurs du sous-sol au contact de l'eau souterraine en circulation.

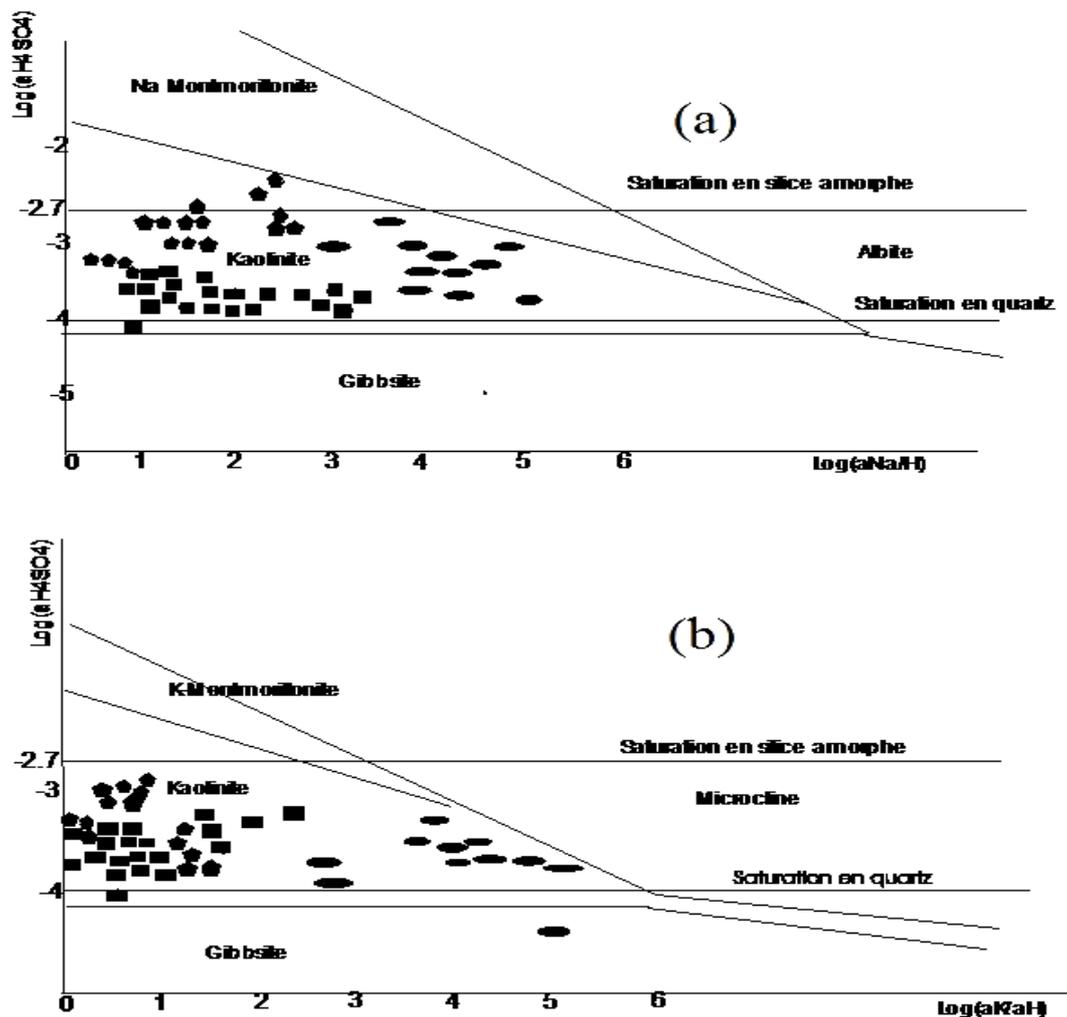


Figure 4: Position des eaux souterraines dans les diagrammes d'équilibre. a) Position des eaux souterraines dans le diagramme Hcl-H₂O-Al₂O₃-Na₂O-SiO₂. b) Position des eaux souterraines dans le diagramme Hcl-H₂O-Al₂O₃-K₂O-SiO₂.

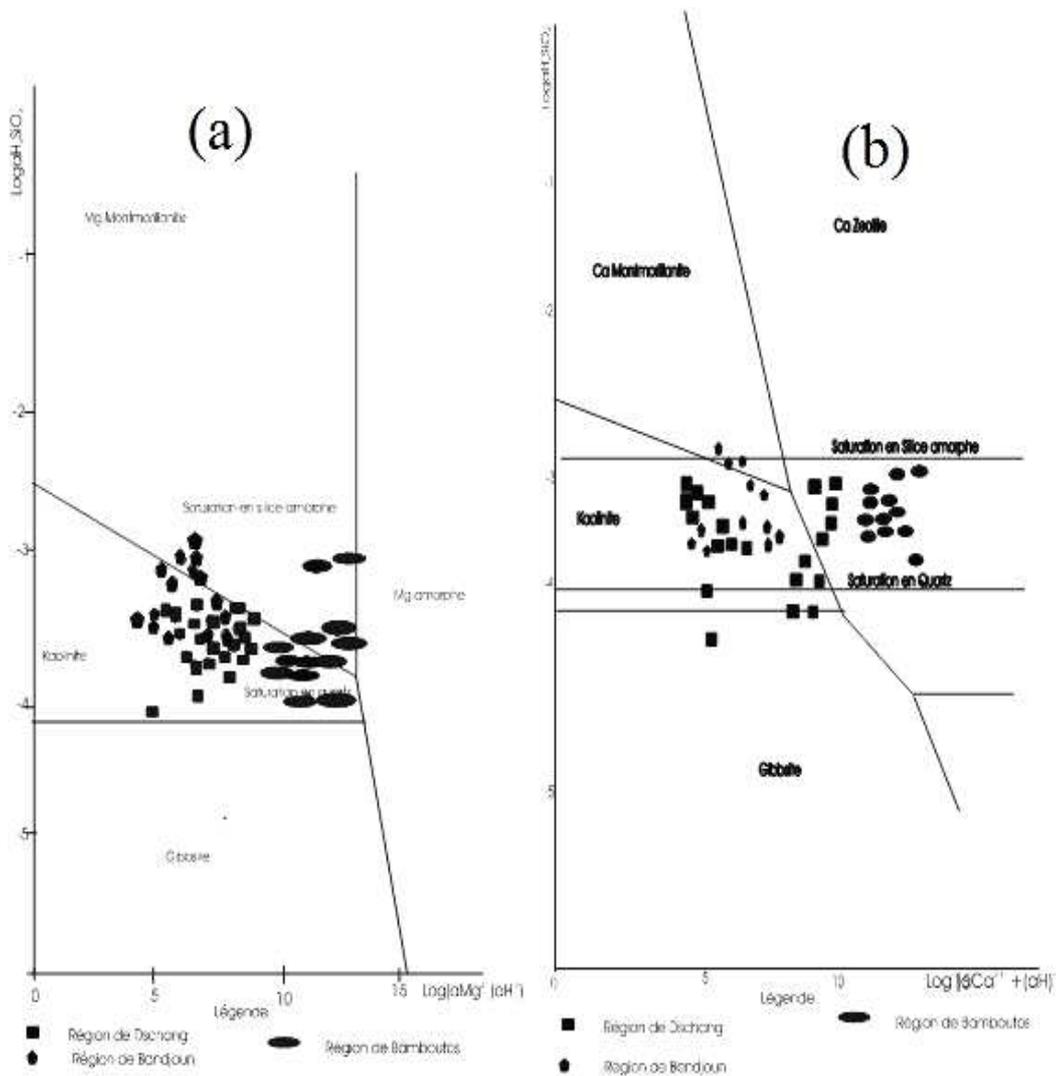


Figure 5: Position des eaux souterraines dans les diagrammes d'équilibre. a) Position des eaux souterraines dans le diagramme HCl-H₂O-Al₂O₃-MgO-SiO₂. b) Position des eaux souterraines dans le diagramme HCl-H₂O-Al₂O₃-CaO-SiO₂.

Conclusion

La quasi-totalité des eaux des sources étudiées sont chlorurées, calciques et magnésiennes, indépendamment de la nature et du degré d'altération de la roche-hôte. Les eaux des forages sont bicarbonatées calciques et magnésiennes. Les faciès chimiques des eaux ne semblent donc pas systématiquement liés aux faciès géologiques. La tendance bicarbonatée, sodique et potassique des sources thermominérales de la Ligne du Cameroun (Le Maréchal, 1974; Aka et al.,

2001) peut être attribuée à leur mode de mise en place où la présence des alcalins se justifie par leur grande solubilité (d'où leur extraction facile) et l'ion bicarbonate obtenu par transformation du CO₂ magmatique (ou atmosphérique) au contact de l'eau souterraine.

Les minéralisations en général faibles sont plus ou moins liées à la nature lithologique du substrat. En effet les sources les plus minéralisées se trouvent dans les basaltes (soit 31%), les 40 autres (soit 69%) se

trouvant dans le socle et le basalte, mais curieusement la source la moins minéralisée se trouve dans le basalte. De même, les forages les plus minéralisés (soit 50%) se retrouvent dans les basaltes (300 mg/l en moyenne), alors que les cinq autres qui ont été réalisés dans le socle sont les moins minéralisés.

Les eaux de forage présentent toutes des températures et des pH hors normes.

Tous les ions contenus dans les sources proviennent des roches-hôtes dans un processus de minéralisation en cours d'évolution comme le confirment le rapprochement sources-roches et l'éloignement de la courbe d'équilibre de Werner et Giggenbach (1988). Le fer bien connu pour son colmatage des canalisations et les dépôts boueux (favorisant le développement des bactéries), se trouve ici paradoxalement plus concentré dans les orthogneiss (jusqu'à 4,70 mg/l), les concentrations les plus faibles se trouvant indifféremment dans le socle et les basaltes.

L'âge des formations géologiques semble influencer les minéralisations des sources, car les sources des régions de Dschang et de Bandjoun sur socle et manteau volcanique très altérés ont le même degré d'équilibre avec la kaolinite, alors que les sources de la région des Bambouto sur matériau volcanique plus jeune et moins lessivé sont plus proches des minéraux primaires (microcline/albite) et plus riches en alcalino-terreux (Mg et Ca amorphes).

L'incidence sur l'environnement et la santé humaine dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun sera perceptible à cause des températures et des pH (dans les eaux de forages) et des teneurs de Fe, SiO₂ (dans les eaux des sources) non conformes aux normes de l'O.M.S. (Organisation Mondiale de la Santé), surtout dans les faciès basaltiques (naturellement riches en ferromagnésiens) où l'on note de nombreux géodes à cristallisation secondaire de silice fibreuse sous forme de calcédoine, de calcite et de zéolites, mais aussi dans certains orthogneiss.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Aka FT, Kusakabe M, Nagao K, Taniyleke G. 2001. Noble gaz isotopic composition and water/gaz chemistry of soda springs from the islands of Bioko, Sao Tomé and

Annobon, along the Cameroon volcanic Line, West Africa. *Appl. Geochem.*, **16**: 323-338.

Berthé D, Choukroune P, Jegouzo P. 1979. Orthogneiss, mylonite and non coaxial deformation of granite: the example of South Armorican Shear Zone. *Journal Struc. Geol.*, **1**: 31-42.

Bessoles B, Trompette M. 1980. Géologie de l'Afrique : la chaîne panafricaine, « zone mobile d'Afrique Centrale (partie sud) et zone mobile soudanaise ». Mém. BRGM : Orléans, France.

Biaya SMO. 2002. Influences de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de sources : cas du village Balatchi et ses environs (Dans le Département des Bambouto) Mem. Maîtrise, Fac. Sc., Univ. Dschang, 88 p.

Bouopda JF. 2000. Influences de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de sources : cas de la région de Bandjoun. Mem. Maîtrise. Fac. Sc. Univ. Dschang, 87 p.

Derron MH. 1999. Interaction eau-roche de basse température: géochimie des métaux dans l'altération météorique des roches mafiques alpines. Thèse Doct., Fac. Sc., Univ. Lausanne, 128 p.

Druelle B, Moreau C, Kambou R, Lissom J, Njonfang E, Ghogomu RT, Nono A. 1991. The Cameroon Line: a review. In *Magmatism in Extensional Structural Settings. The Phanerozoic African Plate*, Kampuzu AB, Lubala RT (eds). Heidelberg Springer-Verlag; 237-274.

Djeuda THB. 1987. Géologie et hydrogéologie d'un secteur de la zone mobile d'Afrique Centrale: Région de poli, Nord Cameroun. Thèse. Doct., Univ. Grenoble I, 304 p. + annexes.

Djeuda THB, Tanawa E, Ngnigam E. 2001. *L'eau au Cameroun: Approvisionnement en Eau Potable* (Tome 1). Presses Universitaires: Yaoundé.

Djomou Bopda SL. 2002. Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de sources: cas de la région de Dschang, et ses environs (Ouest-Cameroun). Mem. Maîtrise, Fac. Sc., Univ. Dschang, 75 p.

DJNS, 1999. Direction Nationale de la Statistique

- Drever JI, Zobrist S. 1992. Chemical weathering of silicate rocks as a function of elevation in the southern Swiss Alps. In the Robert M. Garrels memorial issue. Helgeson HC (ed); **56**: 3209-3216.
- Dubreuil P, Guiscarfe J, Nouvelot JF, Olivry JC. 1975. *Le Bassin de la Rivière Sanaga*. Monographies Hydrologiques ORSTOM, 3: Paris.
- Dumort JC. 1968. Notice explicative sur la feuille Douala-Ouest avec carte géologique de reconnaissance au 1/500000. Dir. Min. Géol., Yaoundé, Cameroun.
- Fosso J. 1999. Volcanologie, pétrographie et géochimie d'un strato-volcan des hauts plateaux de l'Ouest: le Mont Bangou. Thèse de Doct. 3^e cycle, Fac. Sc., Univ. Yaoundé I, 278 p.
- Fosso J, Ménard JJ, Bardintzeff JM, Wandji P, Tchoua FM, Bellon H. 2005. Les laves du Mont Bangou: une première manifestation volcanique éocène, à affinité transitionnelle, de la Ligne du Cameroun. *C. R. Geosciences*, **337**: 315-325.
- Furry V. 1997. Les eaux souterraines en Picardie. Mém. D.E.S.S. Environnement, Univ. Picardie Jules Verne, 30 p. + annexes.
- Jackson TA. 1998. The biogeochemical and ecological significance of interactions between colloidal minerals and trace elements in environmental interactions of clays. Rae P (ed). Springer.
- Kuepou G. 2004. Geology, petrology and geochemistry of the Tertiary Bana volcano-plutonic complex, West Cameroon, Central Africa. PhD Thesis, Kobe University, Japan, 301 p.
- Kuepou G, Tchouankoue JP, Takashi N, Hiroaki S. 2006. Transitional tholeiitic basalts in the Tertiary Bana volcano-plutonic complex, Cameroon Line. *Journ. Afric. Earth Sci.*, **45**: 318-332.
- Kwékam M. 1993. Le massif plutonique calco-alcalin pan-africain de Fomopéa (Ouest-Cameroun). Cadre structural-pétrologie-géochimie, interprétation géodynamique. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Yaoundé I, Cameroun, 283 p.
- Kwékam M. 2005. Genèse et évolution des granitoïdes calco-alcalins au cours de la tectonique panafricaine: le cas des massifs syn- à tardi- tectoniques de l'Ouest-Cameroun (Régions de Dschang et de Kekem). Thèse de Doct. D'Etat, Université de Yaoundé I, 196 p.
- Lasserre M. 1978. Mise au point sur les granitoïdes dits « ultimes » du Cameroun. Gisements, pétrographie et géochronologie. *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières*, **2**(4): 143-159.
- Le Maréchal A. 1974. Géologie et géochimie des sources thermonérales du Cameroun. Thèse doct. D'Etat, Univ. Paris VI, ORSTOM PARIS, 165 p. + annexes.
- Marzoli A, Renne PR., Picirillo ME, Castorina F, Giuliano B, Adolpho JM, Nyobe JB, Nni J. 1999. Slicic magmas from the continental Cameroon Volcanic Line (Oku, Bambouto and Ngaoundere) ⁴⁰Ar-³⁹Ar dates, petrology, Sr-Nd-O isotopes and their petrogenetic significance. *Contrib Mineral Petrol.*, **135**: 133-150.
- Marzoli A, Picirillo ME, Renne PR, Bellieni G, Iacumin M, Nyobe JB, Tongwa AT. 2000. The Cameroon Volcanic Line revisited: Petrogenesis of continental basaltic magmas from lithospheric and asthenospheric mantle sources. *Journal of Petrology*, **41**(1): 87-109.
- MINMEE/DRH, 1997. Note de service N° 033/MINMEE/DRH/SDT/SES du 26 mars 1997 portant sur la situation du projet 400 forages dans sept provinces du Cameroun. Financement: Banque Islamique de Développement (BID), 1 p.
- Momeny SR. 2000. Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de sources: cas du secteur de Tchuelekwet-Mela-Tsinza dans les environs de Dschang (Ouest-Cameroun). Mem. Maîtrise, Fac. Sc., Univ. Dschang, 66 p.
- Moreau C, Regnault JM, Déruelle B, Robineau B. 1987. A new tectonic model for the Cameroon Line, Central Africa. *Tectonophysics*, **139**, 317-334.
- Nahon D. 1976. Cuirasses ferrugineuses et encroûtement calcaires au Sénégal occidental et en Mauritanie. Système évolutifs: géochimie, structures, relais et coexistence. *Sc. Géol. Mém. Strasbourg*, 44.

- Nana JM. 1988. Le complexe volcano-plutonique de Bana (Ouest-Cameroun) : Géologie et pétrologie. Thèse de Doct. Univ. Paris Sud (Centre d'Orsay), 131 p.
- Nguiessi Tchamkam C, Vialette Y. 1994. Données géochronologiques (Rb-Sr, Pb-Pb, U-Pb) sur le complexe plutonique de Bandja (centre Ouest-cameroun). *C.R. Acad. Sci., Paris*, **315**: 209-215.
- Nguiessi Tchamkam C, Nzenti JP, Nsifa EN, Tempier P, Tchoua FM. 1997. Les granitoïdes calco-alcalins, syncisaillement de Bandja dans la chaîne panafricaine nord-équatoriale au Cameroun. *C. R. Acad. Sc.*, **325**: 95-101.
- Njonfang E, Moreau C, Tchoua FM. 1998. La bande mylonitique Foumban-Bankim, Ouest-Cameroun. Une zone de cisaillement haute température. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **327**: 735-741.
- Nni J, Nyobe JB. 1995. Géologie et pétrologie des laves pré-caldériques des Monts Bambouto : ligne du Cameroun. *Geochimica Brasil*, **9**: 47-59.
- Nono A, Djeuda THB, Njonfang E, Tella NFN, Tabué Youmbi J, Bouopda JF, 2001. Influence de la lithologie et des structures géologiques sur la qualité des eaux souterraines et de sources dans les hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun. 12th International Conference of the geological society of Africa .Geo environmental catastrophes in Africa. *J. Geosc. Soc. Cameroon*, 105-106.
- Nono A, Nkouathio DG, Gountie DM, Njonfang E, Kagou DA, Tchoua FM. 2003. Zonal and vertical variations in welding rate and composition of ignimbrites of the Bambouto volcano (Cameroon Line, Central Afrca): volcanological importance. *Geophy. Res. Absrt.*, **5**: 14541.
- Nono A, Njonfang E, Kagou DA, Nkouathio DG, Tchoua FM. 2004a. Pyroclastic deposits of the Bambouto volcano (Cameroon Line, Central Africa): evidence of an initial strombolian phase. *Journ. Afr. Earth Sci.*, **39**: 409-414.
- Nono A, Wabo H, Biaya SMO. 2004b. Influences comparées de la lithologie et de la tectonique sur la dynamique et la chimie des eaux souterraines sur les hauts plateaux volcaniques de l'Ouest et sur le socle panafricain à l'Est du Cameroun. 20th Colloquium of African Geology–Orléans France, 02-07 Juin 2004, Abstracts volume, 318 p.
- Nono A, Wabo H. 2004c. Influence de la lithologie et de la fracturation sur la dynamique et la chimie des eaux souterraines sur socle panafricain à l'Est du Cameroun: cas de la localité d'Abong-Mbang. 20th Colloquium of African Geology–Orléans France, 02-07 Juin 2004, Abst. volume, 317 p.
- Nono A, Wabo H, Tabué Youmbi G, Biaya S, Ekodeck, GE. 2006. Influence of lithology and geologic structures on quality and dynamics of groundwater in Cameroon western highlands: a case study of Bandjoun village. Gulf of Guinea Geosciences Congress, November 8-10, Kribi-Cameroon, Abstracts volume, 60.
- Nono A, Temgoua E, Likeng JDH, Djoukouo Tutchamo JP. 2008a. Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux souterraines sur le versant nord des Monts Bambouto (des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun): cas du village Balépo et ses environs. *A. G. R., Special Publication*, **1 & 2**: 149-162.
- Nono A, Likeng JDH. 2008b. Influences of lithology and geological structures on groundwater in volcanic areas of Cameroon: Cameroon Volcanic Line (CVL) and Adamawa plateau. International symposium on hydrogeology of volcanic rocks, 14-17 December 2008, Djibouti.
- Nzenti JP, Bertrand SM, Macaudière J. 1994. La chaîne panafricaine au Cameroun : cherchons suture et modèle. 15^e Réunion des Sciences de la Terre, Nancy, France, 99 p.
- Nzenti JP, Tchoua FM. 1996. Les gneiss scapolatiques de le chaîne panafricaine nord équatoriale au Cameroun : témoins au Précambrien d'une sédimentation évaporitique en bordure nord du craton du Congo. *C. R. Acad. Sc.*, **323**: 289-294.
- Nzolang C. 2005. Crustal evolution of the Precambrian basement in West-Cameroon: inference from geochemistry, Sr-Nd isotopes and experimental investigation of some granitoïdes and

- metamorphic rock. PhD Thesis, Niigata University, Japan, 207 p.
- Peronne Y. 1969. Notice explicative de la feuille Wum-Banyo avec carte géologique de reconnaissance au 1/500000. Dir. Min. Géol., Yaoundé, Cameroun.
- Piper AM. 1944. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analyses. *Trans. Am. Geophys. Un. Papers, Hydrol.* : 914-929.
- Regnault JM. 1986. Synthèse géologique du Cameroun. Ministère des Mines, de l'Eau et de l'Energie, Yaoundé, Cameroun.
- Salbu B, Steinnes E. 1995. *Trace Elements in Natural Water*. C.R.C. Press: Inc.
- Saviulo G, Secco L, Marzoli A, Piccirillo EM, Nyobé JB. 2000. Ca-rich pyroxene from basic to silicic volcanic rocks from the Cameroon Volcanic Line (West-Africa): crystal chemistry and petrological relationships. *Miner. Prtrol.*, **79**: 73-88.
- Segalen H. 1967. Les sols et géomorphologie du Cameroun. *Cah. ORSTOM, Série Pédol.*, **5**(2): 137-187.
- Tabué Youmbi JG. 2000. Influence de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de sources: cas du secteur Fokamezoung Doumbow (Sud-Est de la ville de Dschang, Ouest-Cameroun). Mem. Maîtrise, Fac. Sc., Univ. Dschang, 99 p.
- Tagné Kamga G, Mercier E, Rossy M, Nsifa EN. 1999. Synkinematic emplacement of of the panafrican Ngondo igneous complex. (West-Cameron, central Africa). *Journ. Afr. Earth Sci.*, **28**: 675-691.
- Tagné Kamga G. 2003. Petrogenesis of the Neoproterozoic Ngondo plutonic complex (Cameron, West-central Africa): a case of late-collisional ferro-potassic magmatism. *Journ. Afr. Earth Sci.*, **36**: 149-171.
- Talla V. 1995. Le massif granitique panafricain de Batié (Ouest-Cameroun): Pétrologie-Péetrostructurale-Géochimie. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Yaoundé I, Cameroun, 271 p.
- Tchoua FM. 1968. Découverte d'ignimbrites dans la région de Dschang. *Annales de la Faculté des Sciences Cameroun*, **2**: 77-94.
- Tchoua FM. 1973. Sur l'existence d'une phase initiale ignimbritique dans le volcanisme des Monts Bambouto (Cameroun). *C. R. Acad. Sc.*, **276**: 2863-2866.
- Tchouankoué JP. 1992. La syénite de Banganté : un complexe panfricain à caractères intermédiaires. Pétrologie-Géochimie. Thèse Doct. 3^{ème} cycle, Univ. Yaoundé I, Cameroun, 283 p.
- Tella NFN. 1999. Contribution à l'étude hydrogéologique de la région des hauts plateaux de l'Ouest-Cameroun: cas de la région de Bandjoun. Thèse de M.Sc, F.A.S.A., Dschang, 110 p. + annexes.
- Temgoua E, Djeuda THB, Tanawa E, Guenat C, Pfeifer HR. 2005. Groundwater fluctuations and footslope ferricrete soils in the humid tropical zone of southern Cameroon. *Hydrol. Process*, **19**: 3097-3111.
- Wabo H. 2002. Influences de la nature lithologique et des structures géologiques sur la qualité des eaux de sources : cas de la région de Bandjoun (Ouest-Cameroun). Mem. Maîtrise, Fac. Sc., Univ. Dschang, 78 p. + annexes.
- Weeksteen G. 1957. Notice explicative sur la feuille Douala-Est avec carte géologique de reconnaissance au 1/500 000. Dir. Min. Géol., Yaoundé, Cameroun.
- Werner D, Giggenbach F. 1988. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoinicator. *Geochimica and Cosmochimica Acta.*, **52**: 2749-2765.
- Wouatong AL. 1998. Mineralogical study of weathering on the Bana complex, Western Part of Cameroon. *Jour. Sci. Hiroshima, Ser. C.*, **11**(1): 55-99.
- Youmen D. 1994. Evolution volcanologique, pétrologique et temporelle de la caldéira des Mts Bambouto (Cameroun). Thèse Doc. Univ. Christiaan Albrecht. Kiel. Fac. Maths et Sci Nat, 274 p. + 2 cartes.
- Youmen D, Schmincke HU, Lissom J, Etame J. 2005. Données géochronologique: mise en évidence des différentes phases volcaniques au Miocène des Monts Bambouto (Ligne du Cameroun). *Sci. Technol. Dev.*, **11**(1): 49-57.