

VULNERABILITE DES AQUIFERES DE LA PLAINE VOLCANIQUE DU NOUN AUX ACTIVITES AGRICOLES (CAMEROUN).

VULNERABILITY OF THE NOUN VOLCANIC PLAIN AQUIFERS TO AGRICULTURAL ACTIVITIES (CAMEROUN).

O.F. MOUNCHEROU^(1,2*), A. MOUNDI⁽²⁾, O. NJIKU⁽²⁾, A. FOUPOUAGNIGNI⁽¹⁾, Z. MFONKA⁽²⁾, O.F. MFOCHIVE⁽²⁾, J.C. TONGA⁽¹⁾, J.R.N. NGOUPAYOU⁽²⁾, A. TAGNE⁽³⁾

¹Institut de Recherches Géologiques et Minières, BP. 4110 Nlongkak, Yaoundé, Cameroun

²Département des Sciences de la Terre, Université de Yaoundé I, BP. 812 Yaoundé, Cameroun

³Institut de Recherches Agronomique pour le Développement, BP. 2067 Yaoundé Cameroun

**Corresponding Author E-mail: omoucherou@yahoo.fr*

Received: February 21, 2018, Accepted: April 16, 2018, Online: December 31, 2018

RESUME

La plaine volcanique du Noun est une entité sud-ouest du Plateau Bamoun qui a été le siège des épisodes volcanique diverses. Les aquifère mis en place dans cet environnement constituent la principale source en eau de la région, destinée à la consommation humaine et aux usages agro pastorales. Suites aux observations courantes indiquant la prévalence de certaines maladies et la disparition de certaines espèces non ciblées par les agriculteurs, une exploration du système d'exploitation agricole a été entreprise en vue d'établir le lien avec la qualité des ressources en eau de ce grand bassin agricole du Cameroun.

Il en ressort que les formations rocheuses sont composées essentiellement de pyroclastites,

généralement granoclassés sur 10 cm à 50 mètres d'épaisseurs. Ce sont aussi les basaltes ayant une porosité variant de 1 à 10% et les basaltes vacuolaires de 10 – 50% reposant sur les granites et les migmatites (Moucherou, 2015 et Moucherou et al., 2011). Par ailleurs, 112 types variés de produits phytosanitaires, avec des modes d'utilisation amateurs, ont été identifiés comme intrants utilisés.

Cet environnement géologique constitué de cendres et de lapillis, est favorable à l'infiltration des fluides. Les ressources en eaux collectées montrent pour les échantillons des zones saturées des concentrations en nitrate (<40mg/L) proches du seuil de potabilité (50mg/L) (OMS, 2004). Contrairement, les concentrations en nitrates des

résidus des pesticides atteignent des proportions de 1,20µg/L à Koupare, 1,5µg/L à Fossette et 2µg/L à Mféchiéya dépassant ainsi la norme de l'OMS (2004) qui est de 0,5µg/L. Ce qui traduit une forte pollution environnementale d'origine agricole.

Mots clés : vulnérabilité, ressources en eau, activités agricoles, pesticides.

SUMMARY

The Noun volcanic plain is a southern west entity of the Bamoun Plateau which was the site of various volcanic episodes. Aquifers distribution in this environment constitutes the principal water source of the area, intended to human consumption and agro-pastoral uses. Current observations indicate the prevalence of certain diseases and the disappearance of certain species not targeted by the farmers. Thus, an exploration of the agricultural system was undertaken in order to establish the link with water resources quality in this large agricultural basin of Cameroun.

This brings us to explore the handling and nature of the agricultural entrants used and to analyze the hydrogeochemical data of the soil and water resources concern. Such knowledge will make it possible to establish the link between agriculture practice and water quality, which is a key point of ongoing reflections on agricultural systems durability in the large production basins. Beyond the Noun plain, the whole volcanic and wet zones

for which the intensification of agricultural activities is fore seen like an adapted alternative to the territorial and environmental stakes, which would be concerned. This study proposes to contribute to the scientific and operational challenges evoked.

Located between longitudes 10°30'-10°45'E and latitudes 5°26'-5°39'N the Noun plain covers a surface of approximately 900 km² on which pyroclastic projections and volcanic ash settled partly. With an average altitude of 1200 meters, it is roughcast of three aligned volcano-plutonic massif from north to south (Mbam, 2335m, Nko-Gam, 2268m; Mbatpit, 1988m) (Fig. 1) and about forty more recent Strombolian cones. The South is particularly characterized by volcanic rocks of various origins. The thickness of these lava flows varies 10 cm (at Ngouodam) to 50m (at Nkouondja and Nkouotlouom)

The Noun plain enjoys an equatorial climate of moderated monsoon by altitude. The seasonal variations are very weak. During the rainy season, maximum precipitations are observed from August to September and one can count approximately 185 of rainy days per year. There are two distinct seasons, a dry season going from November to March and a rainy season from April to October. The data from the weather Center at Koutaba and the Hydroelectric dam of Bamendjin, obtained over

10 years, show that the Noun plain has an annual average pluviometry of 2500 mm. 65% of annual relative moisture and 25°C of average annual temperature. These climatic conditions are contributing to the extension of agro-pastorals activities. These last years, climate has been characterized by strong temperature variation which accelerate evaporation and evapotranspiration. For this study, six localities were targeted with three types of sampling corresponding to surface water, wells and boreholes.

The multi-disciplinary approach adopted in this study includes field observations and chemical analyses which constitute the traditional mode of investigation in hydrology and in environmental science. Sampling points selected on topographic maps and aerial photographs were readjusted on the field. Water samples retained come from 9 sources; 5 crater lakes, 18 wells (6 in Foubot, 6 in Baïgom and 6 in Bamkouop) and 12 boreholes (5 in Foubot, and 7 in Mbamkouop), with water depths going from 6 to 25 m. A rainy event was also sampled in Foubot. The samples treated are from strongly entropized wetlands.

The localization and the altitude of the selected sampling sites were given by the use of Garmin GPS. Water of wells were drawn using plastic buckets attached with ropes, while water of boreholes was collected by pumping during 5-15

min before sampling. Water of collector was filled in plastic bottles of 500 ml after being rinsed with sample and was preserved from air in order to avoid evaporation. Physical parameters such as pH, electrical conductivity (EC) and temperature of water samples from stream were measured *in situ* by using pH/EC/Temperature DKK TOA-meter and photometer HACH.

Nitrates and similar components that are nitrites and ammoniac nitrogen were determined by molecular spectrophotometry absorption to respective wave lengths of 585 Nm, 500 Nm, and 655 Nm. For pesticides, water samples stabilized on the field were analysed at the Hydrological Research center (CRH) of Cameroun and at the Agricultural research Institute for Development by the GC-ECD method (Gas Chromatography with Electron Captures Detector) with the precision that the distinction of the various residues of pesticides was done by retention time. The measured parameters were treated by statistical methods and were compared with the World Health Organization (WHO).

The Noun plain is covered with hard rocks (10%) and pyroclastic projections (90%). Volcanic ash and graded lapilli reaches locally 10 cm to 50 m thickness the peneplain (Martin and Sieffermann, 1966; Mouncherou et al., 2011); lapilli, blocks and bombs at strombolians cones level and ponds. These formations lie on a Precambrian granito-

migmatitic base carrying diachlases and other lineaments oriented according to SW-NE and N10-20E direction (Njonfang, 1998). The hydrographic network fits observed features in this basin (Fig. 2).

The exploration of the agricultural production system has made it possible to identify fertilizers, 21 commercial names which gather mineral fertilizer as ammonium sulphate (9%), calcic Cyanamide (9%), Urea (26%), various (14%). manures of animal origin (17%) and vegetable (15%) (Fig. 4).

With regard to pesticides, 91 commercial products were identified with 67 active matters. Organophosphorus pesticides (37 %) are used. Organochlorite pesticides (11 %) are the less used among the most significant chemical classes (organophosphorus, organochlorites, pyrethrinoid, carbanates) (Fig. 6). These represent about 112 of fertilizer products used for about 10 gardening products (tomato, salad, water melon, spotted sweet pepper...). Pesticides cause serious damages on environment because of the combined effects of their anarchic and abusive method of application, as well as their persistence and toxicity.

The Results of the analyses carried out in the study area holds that 80% of the water resources is contaminated. The contamination level exceeds the standards prescribed by WHO in 1986. This

standard stipulates that water quality intended for household use should not contain more than 0.1µg/l of a distinct active matter and 0.5µg/l of total active matters. Whereas in analyzed wells, active matters like lindane, difocol and endosulfan has concentrations higher than 0.1µg/l. This water contamination generates serious public health dangers. Several discomforts, namely nauseas, giddiness, vomiting and intoxications are related to water use. The observed signs predict of a strong disturbance of the nervous system and especially of endocrine according to studies of Berryman & Giroux (1994).

In the study area, transfers of suspended material are limited in spite of the visible signs of erosion on the field. We noted a more significant nitrate concentration in early rains in April, whereas in February the concentrations are weak. This indicates infiltration and transfer starting from surrounding sources. As a matter of facts, nitrogen flux arises at 95 % in nitrates forms; organics and ammoniac forms being negligible. The reduced shape of nitrogen comes from natural protein decomposition (animal and vegetable), as well as domestic or agricultural industrial wastes. In natural water, its concentration can vary from 0.1 to 10 mg/L (Chevery, 2001). Presence of natural Nitrates in water comes from organic nitrogen degradation. Meanwhile, agricultural activities

contribute to raise this rate. Thus, nitrates content of the various sites (Fig. 8) during heavy rainfall period shows contamination with acceptable limits. Similar results were obtained by Nikolaidis & al. in 2008 at Evros in Greece on ground water of an intensive agricultural zone where Nitrate contents are in the background range and allowable values (Lital *et al.*, 2008).

The geological characteristics of Noun plain structures, as well as the tectonic deformations, joints, fractures, shearing and other discontinuities offer a potential asset for the agricultural production and fluids movement in this large basin. This is what is important and attractive towards the zone and the vulnerability of water resources.

This system put forward the use of very varied fertilizers ranging from organic waste and less valorized plants. Results show disproportion of parasites eradication measures and the use of prohibited product. The using mode of these products in the locality of Kouparé, Mbamkouop, Koufen and Foubot is not convenient. Applicators and residents are thus subject to various troubles (nauseas, vomiting, dizzy spell...). Species like butterflies, bees and certain edible insects are disappearing. The remark done here is that damage goes beyond the agricultural and concerned zones.

Certain water bodies are invaded by vegetable species (algae) probably linked to nitrate excesses.

As for pesticides, the situation is hardly more brilliant; residues of phytosanitary molecules are observed in half of the rivers and in one third of the ground water's (wells).

Analyses results show that nitrates rate varies between 10 and 38.25mg/L on average (Fig. 8) and is close to the threshold of portability as indicated by WHO. Whereas pesticides active matters (the Malathion, the chlorpyrifos ethyl and methyl, lindane, the endosulfan, the cyperméthrine and the deltaméthrine...) (Fig.8), largely exceed the allowed concentration standard defined by WHO (2004).

On sites, pollution is more marked at Mféchiéya with a total average concentration of 1.80µg/l which is 6 times higher than the value guides; followed by Mfossett where the total average concentration is 1.58µg/l being 5 times the standard. Sites of Koufen and Koupare total average concentrations are respectively 1.24µg/l and 1.20µg/l which are 4 times the standard. There are thus the least contaminated after Mbaïgom and Mbamkouop which presents total average concentration of 0.91µg/l and 0.75µg/l respectively (Fig. 9). The bad agricultural practices on a porous soil and the low aquifer depth contribute to increase the contamination risks of cultures and water resources.

In prospect, the resolution of the problem cannot only be lawful; farmers should be voluntarily engaged in more environmental friendly practices.

These approaches can be diverse, namely the networks of sustainable agriculture and reasoned agriculture. Among these practices, we can note those which fall within competence of agronomic choices. They are techniques which aim to limit pollution and withdrawing of water:

- Avoid the abusive utilization of fertilizers and pesticides in the wetland or the re-charge area;
- Limit washing by making recourse to nitrate traps cultures which store nitrates in their tissues before restoring them to cultures sow the following year;
- Limit pesticides treatments according to real dangers;
- Limit and split fertilizer contributions during the year;
- Limit irrigation excesses which wash nitrates and pesticides;
- Support meadow which protects the soil and reduces phosphorus and nitrate scrubblings and does not require phytosanitarian treatment;
- Valorise organic fertilizers on the whole cultures and meadows (they are often concentrated on corn);
- Develop the direct sowing, a non-ploughing technic which allow to maintain even to increase outputs, while reducing

production costs, fertilizers and pesticides washed quantities;

- Choose vegetable species adapted to climatic conditions of our areas;
- Preserve soil moisture by covering it with bark or branches of crushed trees, etc.

Other solutions consist in sparing natural vegetation zones, namely forests in edge of rivers, hedges and slopes which retain water and polluting elements washed in parcels. Farmers will have to assign a small part of their surface in cultures to "pasture bands" which are grass covered surfaces along the rivers. These pasture bands allow re-infiltration of water and fixing then degradation of many pollutants.

According to the differences between the data sampling campaigns, spreading of fertilizers and pesticides in rainy season on agricultural spaces of the Noun volcanic plain results immediately in a pollution of water bodies and inversely a reduction of their use involves an instantaneous and progressive improvement of water quality. Indeed, before being able to reach water resources, these elements have to percolate through grounds or slopes; which can take few days to several years. This result supports the thesis according to which water resources of the area are renewable.

At the end of this work, it is important to note that water resources at the Noun plain (constitute

essentially of volcanic formations) are renewable

and percolation is rapid through the soil or slopes.

On the other hand, water remains a little longer in the aquifer.

However, the systematic use of fertilizer and phytosanitary product, the output of farming activities has greatly increased. This intensive agriculture is without consequences on the environment.

Nowadays, agriculture have to evolve, remain productive but must also preserve actors (farmers are first to handle dangerous product), the health of the persons consuming the agricultural product and environment. These changes cannot be implemented without an evolution of the exploitation system.

So, it will be unrealistic to come back in the old agricultural system. Today stakes is to innovate and support innovation in new practices which permit at the same time to produce sufficient output to ensure a decent income to farmers while respecting ecosystem balance. It is therefore important to manage catchment and their water resources in an integrated way. This management should be collectively done by associating all users of water in order to build together a good solidarity around the vital resource.

Keywords: vulnerability, water resources, agricultural activities, pesticides.

1. INTRODUCTION

Les ressources en eau des zones à fortes activités humaines en général, comme celles du Cameroun, connaissent une altération en termes de qualité et de modifications des formes de l'écoulement. Cette situation est attribuée en partie à l'agriculture du fait de la course au rendement en vue de satisfaire le besoin croissant des populations. Ces dernières années, pour accroître la productivité agricole, la sélection des semences, l'utilisation des engrais de synthèse et des produits phytosanitaires est de bonne mise, créant ainsi une forte destruction de l'environnement. Les zones volcaniques sont particulièrement touchées par ce développement à cause de l'attractivité du sol.

La plaine volcanique du Noun, qui occupe le sud-ouest du Plateau Bamoun (Fig. 1) a été le siège du volcanisme explosif d'âge varié (Tchoua, 1972 & 1983 ; Tchokona *et al.*, 2006 ; Wandji, 1985 & 1995). Elle est recouverte de roches dures (10%) et des projections pyroclastiques (90%). Les cendres volcaniques et les lapillis granoclassés atteignent par endroit 10 cm à 50 m d'épaisseur au niveau des pénéplaines, des cônes stromboliens et des maars (Martin et Sieffermann, 1966 ; Mouncherou *et al.*, 2011). Ces formations reposent sur un socle précambrien granito-migmatitique portant des diaclases et des fentes orientés suivant les directions SW-NE et N10-20°E (Njonfang, 1998). Le

réseau hydrographique épouse majoritairement les linéaments observés dans ce bassin (Fig. 2).

Les aquifères mis en place dans cet environnement constituent la principale source en eau de la région, destinée à la consommation humaine et aux usages agro pastorales. Il est observé, de plus en plus, la recrudescence de certaines maladies et la disparition de certaines espèces d'insectes non ciblés au départ par les agriculteurs. D'où la nécessité d'examiner les habitudes et les activités majeures développées dans cet environnement agro-pastoral. Dans le nord du Plateau Bamoun voisin, il a été démontré que les propriétés chimiques des eaux souterraines étaient tributaires des caractéristiques des roches encaissantes, en l'occurrence, celles des basaltes localement altérés en cuirasse ferralitique ou bauxitique (Moundi *et al.*, 2007; Mouncherou *et al.*, 2011 ; Mouncherou, 2015).

L'objet de cette étude est de situer la question de la pollution des eaux dans le contexte de

l'évolution de l'agriculture vers la productivité, il s'agit de faire état de l'impact des pratiques agricoles sur la qualité des eaux afin d'envisager les perspectives d'amélioration et de précaution. Ce qui amène à explorer la manipulation et la nature des intrants agricoles utilisés et à analyser les données hydrogéochimiques des sols et des ressources en eau concernées. De telles connaissances permettraient d'établir le lien entre la pratique de l'agriculture et la qualité des eaux, qui est un point clé de réflexion en cours sur la durabilité des systèmes agricoles des grands bassins de production. Au-delà de la plaine du Noun, c'est l'ensemble des zones volcaniques et humides pour lesquelles l'intensification des activités agricoles est pressentie comme une alternative adaptée aux enjeux territoriaux et environnementaux, qui serait concerné. L'étude se propose ainsi de contribuer aux défis scientifiques et opérationnels sus-évoqués.



2. MATERIEL

Situé entre la longitude 10°30'-10°45'E et la latitude 5°26'-5°39'N, la Plaine du Noun couvre une surface d'environ 900 km² sur laquelle se sont déposés en partie des projections pyroclastiques et des cendres volcaniques (Fig. 3). Avec une altitude moyenne de 1200 mètres, elle est hérissée de trois massifs volcano plutoniques alignés du nord au sud (le Mbam, 2335m ; le Nkogam, 2268m; le Mbatpit, 1988m) et d'une quarantaine de cônes stromboliens plus récents. Le Sud est particulièrement caractérisé par des roches volcaniques de diverses origines qui, selon Geze (1943) constituent les phases éruptives suivantes : une ancienne série volcanique (basaltes et andésites), série volcanique d'âge moyenne

(Rhyolites, Ignimbrites) et la jeune série volcanique (basaltes, cendres, scories et lapilli). L'épaisseur de ces coulées de lave varie de 10cm (Ngouodam) à 50m (Nkouondja, Nkouotlouom) (Mouncherou *et al.*, 2011 & 2016).

Les rhyolites, sont localisées au niveau du massif du Mbatpit. Elles sont hyper alumineuses et sodipotassiques. Les basaltes quant à eux, de textures microlitique à microlitique porphyrique, sont alcalins, comme en témoignent leur composition minéralogique (présence d'augite aegirinique et de l'olivine), leur structure poreuse et leur signature géochimique alcaline (Wandji, 1985 & 1995 ; Moundi, 2004; Moundi *et al.*, 2007). La figure 4 représente la carte géologique de la zone.



Fig. 3. Photos des divers dépôts pyroclastites dans la plaine du Noun.
Fig. 3. Photos of various pyroclastic products in the Noun plain.

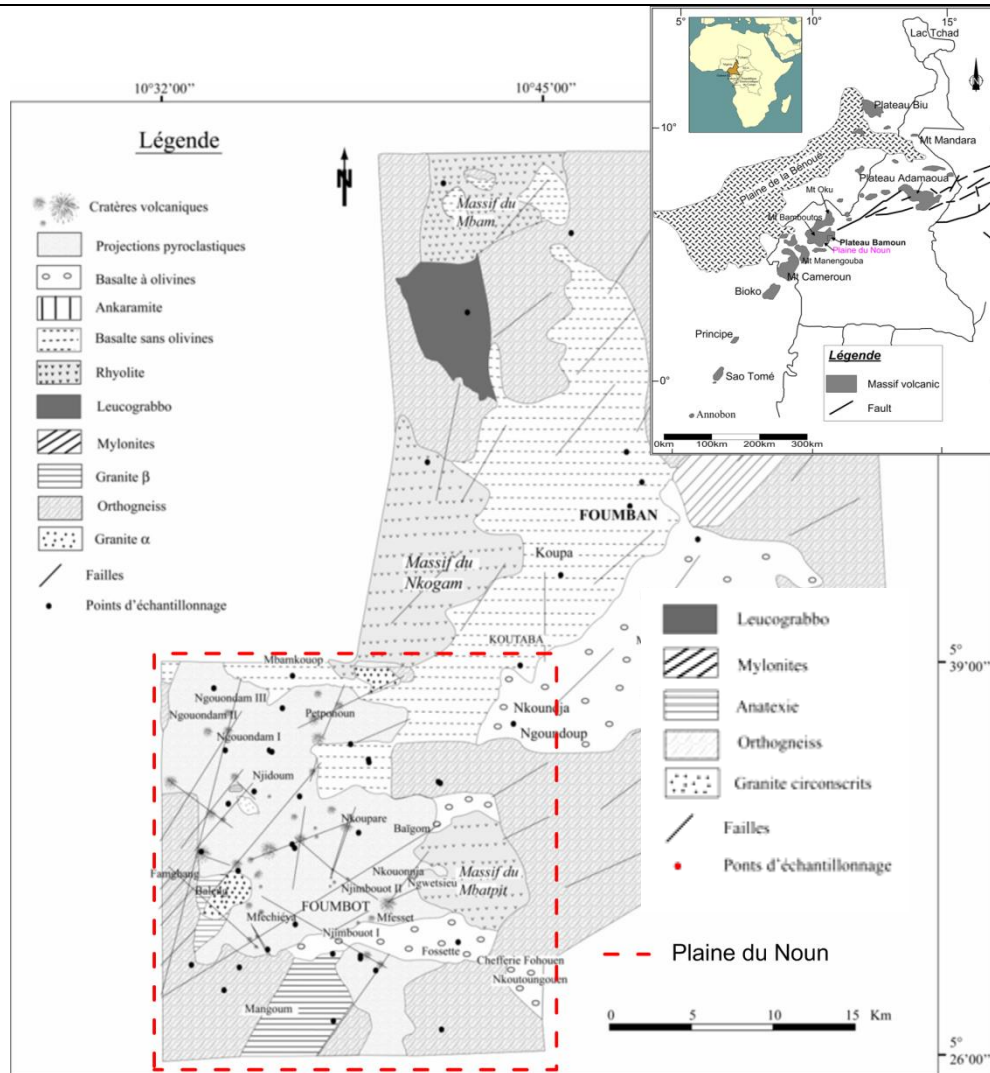


Fig. 4. Carte géologique de la plaine du Noun (Mouncherou et al., 2011).

Fig. 4. Geological map of the Noun Plain (Mouncherou et al., 2011).

La plaine volcanique du Noun jouit d'un climat équatorial de mousson tempéré par l'altitude. Les variations saisonnières sont très faibles. Au cours de la saison de pluie, les précipitations maximales sont observées en août-septembre et on peut compter environ 185 jours de pluie par an. Deux saisons sont distinctes : une saison sèche qui va de novembre à mars et une saison de pluie d'avril à octobre. Les données du centre météorologique de Koutaba et du barrage hydroélectrique de Bamendjin, obtenues sur 10 ans, montrent que la

Plaine du Noun a une pluviométrie moyenne annuelle de 2500 mm, 65% d'humidité relative annuelle et 25°C de température annuelle moyenne. Ces conditions climatiques sont tributaires de l'extension des activités agropastorales. Le climat est aussi caractérisé, ces dernières années, par une forte variation de la température qui accentue l'évaporation et l'évapotranspiration. Six localités ont été ciblées, avec trois types de prélèvement correspondant aux eaux de surfaces, des puits et des forages.

3. METHODOLOGIE

La démarche pluridisciplinaire adoptée dans cette étude englobe les observations de terrain et les analyses chimiques qui constituent le mode classique d'investigation en hydrologie et en science de l'environnement. Les points d'échantillonnage sélectionnés sur la base des cartes topographiques et des photos aériennes ont été réajustés sur le terrain. Les échantillons d'eau retenus proviennent de 9 sources, 5 lacs de cratère, 18 puits (dont 6 à Foumbot, 6 à Baïgom et 6 à Mbamkouop) et 12 forages (dont 5 à Foumbot, et 7 Mbamkouop), avec des profondeurs d'eau allant de 6 à 25m. De même, l'eau de pluie a été collectée à Foumbot durant la période d'étude. Les échantillons traités sont issus des zones humides fortement anthropisées.

La localisation des sites d'échantillonnage sélectionnés a été déterminée par un GPS Garmin. L'eau des puits a été prélevée à l'aide des seaux de puisage en plastique, tandis que l'eau des forages a été récoltée par pompage pendant 5–15 *min* avant l'échantillonnage. Les eaux récoltées ont été stockées dans un collecteur. L'eau du collecteur a été remplie dans les bouteilles en plastique de 500 *ml* après rinçage à l'échantillon et préservée à l'air afin d'éviter l'évaporation. Les paramètres physiques tels que le pH, la conductivité électrique (CE), la température de l'eau ont été mesurés *in*

situ en utilisant pH/EC/ température DKK TOA-mètre et le photomètre HACH.

Les nitrates et les composantes similaires telles que les nitrites et l'azote ammoniacal ont été déterminés par spectrophotométrie d'absorption moléculaire aux longueurs d'onde respectives de 585nm, 500nm, et 655nm. Quant aux pesticides, les échantillons d'eau stabilisés sur le terrain, ont été analysés au Centre de Recherche Hydrologique du Cameroun CRH et à l'Institut de Recherche Agricole pour le Développement par la méthode GC-ECD (Gas Chromotagraphy with Electron Capture Detector). Les paramètres mesurés ont été traités par les méthodes statistiques et comparés aux normes édictées par Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

4. RESULTATS

La mise en place de ces systèmes d'aquifères basaltiques résulte de la superposition des lits intercalés par les altérites, le matériel pyroclastique ou les dépôts de cendres volcaniques reposant sur un socle de granite ou de migmatite. Les principales caractéristiques hydrogéologiques recensées dans la plaine du Noun sont la présence des pores, des vésicules, des fractures et des sédiments hypodermiques. Les résultats des analyses montrent que la porosité de ces roches volcaniques varie de moins de 1% pour les basaltes massifs à plus de 85% pour les pyroclastites

(basaltes vacuolaires, bombes, blocs, lapillis, cendres). Typiquement les basaltes de plateau ont une porosité variant de 1 à 10% et les basaltes vacuolaires de 10 à 50% (Mouncherou *et al.*, 2011). L'exploration du système de production agricole a permis d'identifier pour les engrais, 21 noms

commerciaux qui regroupent les engrais minéraux comme le sulfate d'ammonium (19%), le Cyanamide calcique (9 %), l'Urée (26 %), divers (14 %). Les engrais d'origine animale (17 %) et végétale (15 %) (Fig.5).

déchets animaux

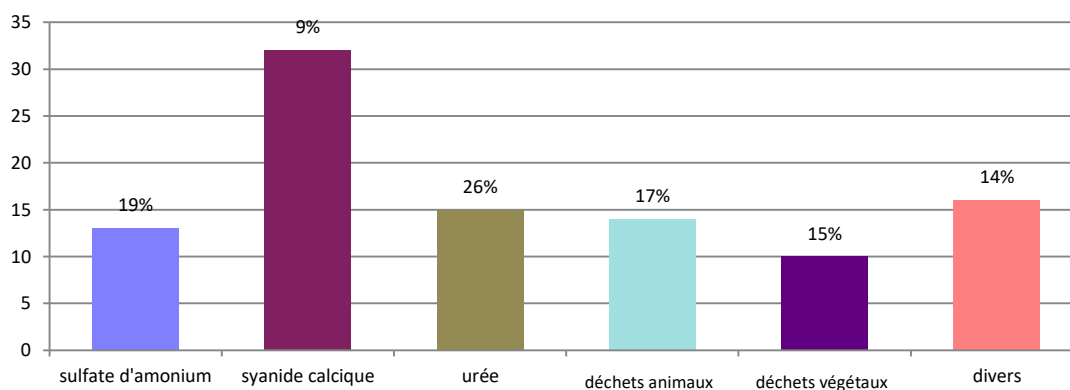


Fig. 5. Classification chimiques des engrais dans la plaine volcanique du Noun.

Fig. 5. Chemical classification of fertilizers in the Noun volcanic plain.

En ce qui concerne les pesticides, 91 noms commerciaux ont été identifiés avec 67 matières actives. Les pesticides organophosphorés (37%) sont les plus utilisés. Les pesticides organochlorés (11%) sont les moins utilisés parmi les classes chimiques les plus importantes (organophosphorés, organochlorés, pyrèthrinoides, carbamates) (Fig. 6). Ce qui représente à peu près 112 produits utilisés pour à peu près 10 produits maraîchers (tomate, salade, pastèque, persille, poivron, etc.). Les pesticides provoquent de graves dégâts sur l'environnement du fait des effets combinés de leurs utilisations anarchiques et abusives, de leur rémanence et de leur toxicité. En somme, les pesticides ont une grande part dans la

dégradation des ressources naturelles. Selon le mode d'épandage, ils se propagent sur de vastes surfaces et du fait de leur rémanence, ils peuvent persister dans le milieu pendant de longues périodes. Ainsi les composantes du milieu physique à savoir les eaux, le sol, la biodiversité sont exposés à un péril permanent.

Après épandage, les résidus de pesticides peuvent se retrouver aussi bien dans les nappes que dans les eaux stagnantes ou de ruissellement. Ainsi ils contribuent à la pollution de cette ressource très convoitée. Par conséquent, la qualité de l'eau sera affectée par la contamination des produits phytosanitaires. Ceci est d'autant plus grave que cette ressource est utilisée par les populations

locales comme eau potable.

Les résultats des analyses réalisées dans la zone d'étude font état d'une contamination de 80% des ressources en eau. Le niveau de contamination dépasse les normes prescrites par l'OMS en 1994. Cette norme stipule que la qualité de l'eau destinée à l'alimentation ne doit pas contenir plus de 0,1ug/l d'une matière active distincte et 0,5ug/l de matières actives au total. Alors que dans les puits analysés, des matières actives comme le

lindane, le difocol, l'endosulfan ont des concentrations supérieures à 0,1ug/l. Cette contamination des eaux engendre de sérieux dangers de santé publique. Plusieurs malaises, à savoir les nausées, les vertiges, les vomissements et les intoxications sont liées à l'utilisation de cette eau. Les signes observés présagent d'une forte perturbation du système nerveux et surtout de l'endocrine d'après les études de Berryman & Giroux (1994).

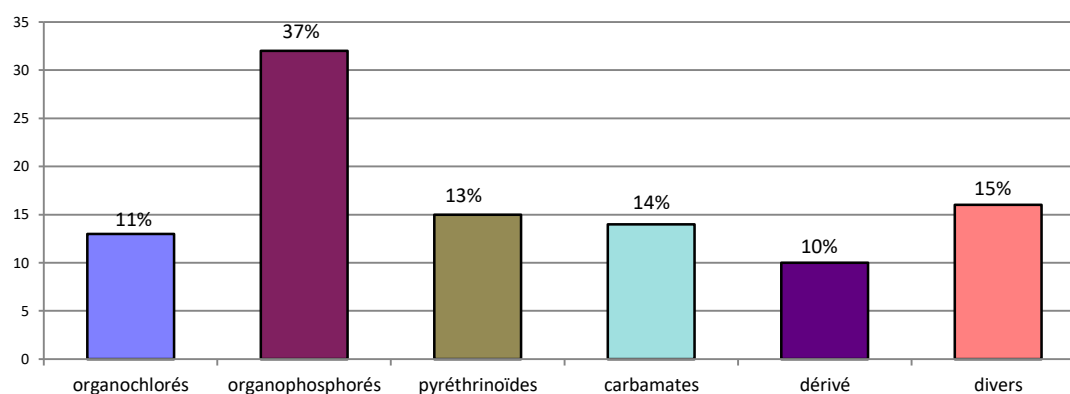


Fig. 6. Classification chimique des pesticides dans la plaine volcanique du Noun.

Fig. 6. Chemical Classification of Pesticides in the Noun volcanic Plain.

Trois modes d'utilisation des pesticides ont été relevés suivant la taille de l'exploitation :

- l'utilisation par aspersion qui est pratiquée par les maraîchers cultivant sur de très petites surfaces. Elle consiste, à traiter les attaques parasitaires à l'aide d'un seau contenant la solution de pesticide et de branchages comme aspersoir. Quand il s'agit de poudre, le saupoudrage se fait à la main sans gants ni masque de protection.

- le traitement avec un pulvérisateur est plus répandu dans la plaine du Noun. Il est appliqué

aussi bien chez les petits que chez les moyens exploitants. Là aussi, le matériel de protection requis fait généralement défaut.

- le traitement par ferti-irrigation s'utilise en association avec l'irrigation par le système goutte à goutte". Ici, les produits solubles sont directement injectés dans le système d'irrigation. Ce mode de traitement, présente moins de risques pour les applicateurs mais, il n'est pas à la portée de la majorité des exploitants compte tenu du coût de l'investissement.

L'utilisation des produits phytosanitaires dépend du producteur. Chez les fermiers, le traitement phytosanitaire est plus rationalisé en tenant compte des impératifs du marché extérieur et du respect scrupuleux des normes exigées en la matière. Par contre, chez les petits producteurs, la fréquence d'utilisation des produits est plus conditionnée par la disposition du produit que par la présence des parasites. C'est ainsi qu'il est fréquent d'observer chez eux des traitements préventifs. En période de forte attaque parasitaire, les traitements peuvent se faire jusqu'à trois fois dans la semaine, aux environs de Njindoun, Mgouodam, Nkou'omboum.

En outre, une gamme très diverse de produits est utilisée lors des traitements ; parfois même, les usagers procèdent à des mélanges dont ils ne maîtrisent ni le dosage, ni la rémanence, encore moins les propriétés physico-chimiques du produit. Ainsi, on constate qu'un maraîcher utilise en moyenne dans une campagne trois types de produits différents sans compter les mélanges qu'il prépare afin d'obtenir une meilleure éradication des prédateurs.

5. DISCUSSIONS

Dans la zone d'étude, le transfert des Matières en Suspension (MES) est limité malgré les signes d'érosion visibles sur le terrain. On note une teneur plus importante en nitrate dès les premières pluies

en avril, alors qu'en février les concentrations sont faibles. Ce qui indique une infiltration et transfert à partir des sources environnantes. En effet, le flux d'azote se présente à 95 % sous forme de nitrates, les formes organique et ammoniacale étant négligeables. La forme réduite de l'azote provient de la décomposition de protéines naturelles (animales et végétales), ainsi que de rejets industriels domestiques ou agricoles. Dans les eaux naturelles, sa concentration peut varier de 0,1 à 10 mg/L (Chevery, 2001). Les nitrates sont naturellement présents dans l'eau à partir de la dégradation de l'azote organique. Cependant, les activités agricoles contribuent à élever ce taux. Ainsi, les teneurs en nitrates des différents sites (Fig.7) pendant la période de forte pluviosité montrent une contamination limite de l'acceptable. Des résultats similaires ont été obtenus par Nikolaidis & al. en 2008 à Evros en Grèce sur les eaux souterraines d'une zone d'agriculture intensive où les teneurs en nitrate se situent dans la gamme du bruit de fond et des valeurs admises (Lital et al., 2008).

Les caractéristiques géologiques des formations de la plaine du Noun, ainsi que les déformations tectoniques, joints, fractures, cisaillements et d'autres discontinuités offrent un atout potentiel pour la production agricole et le mouvement des fluides dans ce grand bassin. Ce qui traduit l'attractivité constatée vers la zone et la

vulnérabilité des ressources en eau.

Ce système met en exergue l'utilisation d'une gamme de fertilisant très variée, avec les déchets organiques et végétaux moins valorisés. Les résultats démontrent la disproportion des mesures d'éradication des parasites et l'utilisation des produits prohibés. Le mode d'utilisation de ces produits phyto sanitaires dans la localité de Kouparé Mbamkouop, Koufen et Foubot n'est pas commode. Les applicateurs et certains riverains sont ainsi sujets à des troubles divers (nausées, vomissement, étourdissement, etc.). Les espèces comme les papillons, les abeilles et certains insectes comestibles disparaissent. En conséquence, les dégâts vont au-delà de la zone agricole concernée. Certaines rivières et cours

d'eau sont envahies d'espèces végétales probablement liées aux excès de nitrates. Quant aux pesticides, la situation n'est guère plus brillante, des résidus des molécules phytosanitaires sont observés dans la moitié des cours d'eau et dans presque tous les puits à l'exception des puits BP1 et FCA3. Les résultats des analyses montrent que le taux des nitrates qui varie entre 10 et 38,25mg/Len moyenne (Fig. 7), est proche du seuil de potabilité recommandé par l'OMS. Alors que les matières actives des pesticides (le malathion, le chlorpyrifos éthyle et méthyle, le lindane, l'endosulfan, la cyperméthrine et la deltaméthrine...) (Fig.8), dépassent largement la norme de concentration admise par l'OMS en 2004.

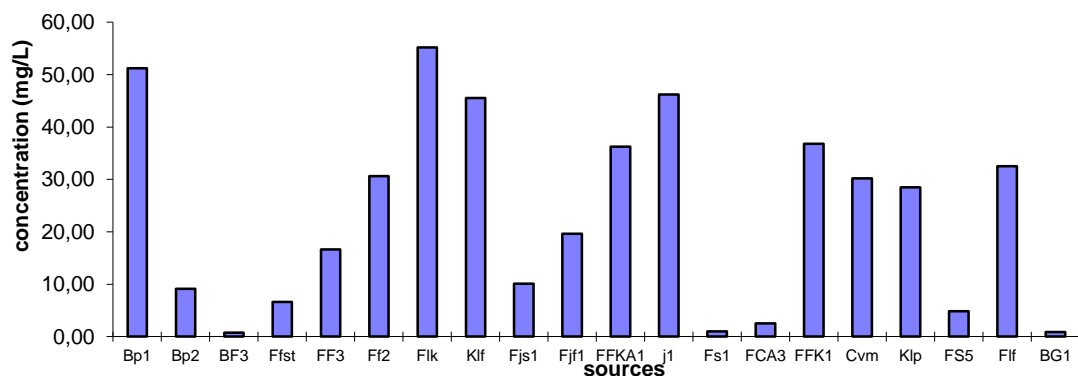


Fig. 7. Concentration en nitrates des différentes sources analysées de la plaine volcanique du Noun.
Fig. 7. Nitrate concentration of different analyzed sources of the Noun volcanic plain.

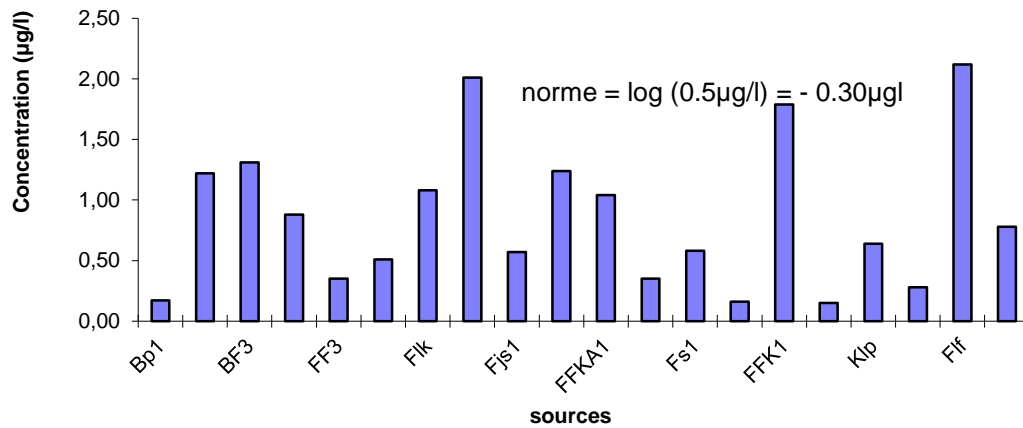


Fig. 8. Concentrations des résidus de pesticides dans les différents points d'eau analysés.

Fig. 8. Concentrations of pesticide residues in the analyzed water points.

Au niveau des sites étudiés, la pollution est plus marquée à Mféchiéya avec une concentration moyenne totale de 1,80µg/l soit 6 fois supérieure à la norme OMS suivi de Mfossett où la moyenne de la concentration totale est de 1,58µg/l soit 5 fois la norme, loin des sites de koufen et de koupare où les concentrations moyennes totales sont respectivement de 1,24µg/l et 1,20µg/l soit 4 fois

la norme. Ces sites demeurent ainsi les moins contaminés après Mbaïgom et Mbamkouop qui présentent des valeurs moyennes de concentration totale respective de 0,91µg/l et 0,75µg/l (Fig.9). Les mauvaises pratiques agricoles sur un sol poreux et la faible profondeur de la nappe concourent à augmenter les risques de contamination des cultures et des ressources en eau.

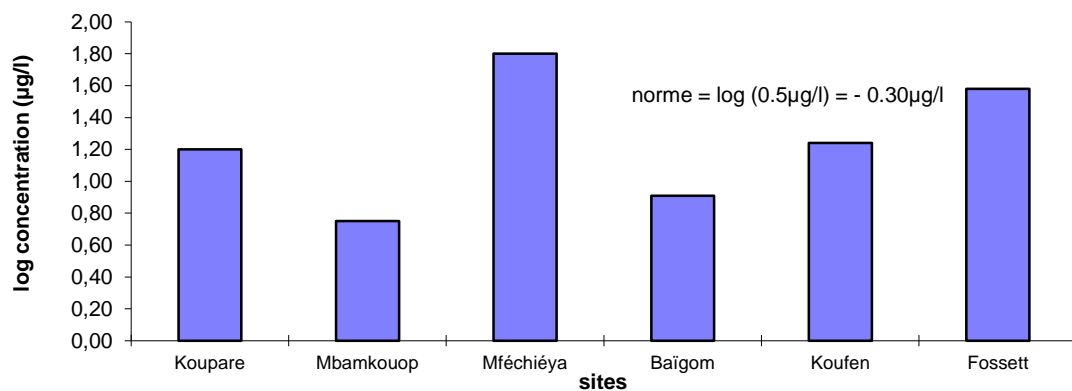


Fig. 9. Niveau de contamination de la nappe selon les différents sites de prélèvement.

Fig. 9. Level of contamination of the water table according to the sampling sites.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Il convient de souligner au terme de cette étude que les ressources en eau de la plaine volcanique

du Noun constituée essentiellement des formations volcaniques sont renouvelables et la percolation à travers les sols ou sur les versants ne

prend pas assez de temps. Par contre l'eau séjourne un peu plus longtemps dans la nappe.

Cela dit, avec l'utilisation systématique des engrais et produits phytosanitaires, le rendement des cultures a fait un bon prodigieux.

L'agriculture intensive n'est pas sans conséquences pour l'environnement. En effet, le développement des grandes cultures dans la zone a favorisé :

- La spécialisation des filières et donc la monoculture ;
- L'utilisation croissante des produits phytosanitaires (herbicides, fongicides ou insecticides) dont les taux dépassent la norme admise ;
- L'émergence de certaines pathologies,
- L'augmentation de la consommation d'eau qui crée des déséquilibres dans le milieu naturel.

L'agriculture doit donc aujourd'hui évoluer. Elle doit rester productive tout en préservant à la fois : l'environnement et la santé des agriculteurs qui sont les premiers consommateurs des produits chimiques pour augmenter leurs productions. Ces changements ne pourront s'opérer qu'à travers une évolution des systèmes d'exploitation. L'enjeu aujourd'hui est d'innover et de soutenir cette innovation dans de nouvelles pratiques qui permettent à la fois de produire des rendements

suffisants pour assurer un revenu décent aux agriculteurs tout en respectant l'équilibre du milieu naturel. Il serait donc illusoire de vouloir revenir à une agriculture d'antan. Ainsi, il convient de mieux prendre en compte le fonctionnement des milieux et des ressources en eau qui leur sont liées en les gérant de façon plus intégrée et plus systémique à l'échelle des bassins versants. Cette gestion devra se faire collectivement en associant les différents usagers de l'eau pour construire ensemble une véritable solidarité autour de cette ressource vitale.

L'impact de l'épandage des fertilisants et des pesticides en saison pluvieuse sur les espaces agricoles de la plaine volcanique du Noun, se traduisent immédiatement par une pollution des cours d'eau ou des nappes souterraines. Une réduction de leur usage entraîne une amélioration instantanée et progressive de la qualité des eaux. En effet, avant de pouvoir atteindre une ressource en eau, ces éléments doivent percoler à travers le sol ou sur les versants ce qui peut prendre quelques jours à plusieurs années. Ce résultat appuie la thèse selon laquelle les ressources en eau de la région sont renouvelables.

En perspective, la résolution du problème ne peut être uniquement réglementaire, les agriculteurs devront s'engager volontairement dans des pratiques plus respectueuses de l'environnement.

Ces approches peuvent être diverses, à savoir les réseaux d'agriculture durable et raisonnée. Parmi ces pratiques, nous pouvons noter celles qui sont du ressort des choix agronomiques. Il s'agit des techniques qui visent à limiter les pollutions et les prélèvements d'eau notamment :

- Alléger et rationaliser l'utilisation des fertilisants et les pesticides au niveau des zones humides et de recharge en eau ;
- Limiter le lessivage en faisant recours aux cultures pièges à nitrates qui stockent dans leurs tissus les nitrates avant de les restituer aux cultures semées l'année suivante ;
- Limiter le traitement par les pesticides en fonction des dangers réels ;
- Limiter et fractionner les apports de fertilisants durant l'année ;
- Limiter les excès d'irrigation qui lessivent nitrates et pesticides ;
- Favoriser la prairie qui protège le sol et réduit les lessivages de nitrates et de phosphore et ne demande pas de traitement phytosanitaire ;
- Valoriser les fertilisants organiques sur l'ensemble des cultures et des prairies (ils sont souvent utilisés pour le maïs) ;
- Développer le semis direct, technique de non labour qui permet de maintenir voire d'accroître les rendements, tout en réduisant les coûts de production et les quantités de fertilisants et de pesticides lessivés ;
- Choisir des espèces végétales adaptées aux conditions climatiques de la région ;
- Préserver l'humidité du sol en le couvrant avec de l'écorce ou des rameaux d'arbres broyés, etc.

D'autres solutions consistent à ménager les zones de végétation naturelle, à savoir les forêts en bordure des cours d'eau, des haies et des talus qui retiennent de l'eau et des éléments polluants lessivés dans les parcelles. Les agriculteurs devront affecter une infime partie de leur surface en cultures à des « bandes enherbées » le long des cours d'eau. Ces bandes enherbées permettent une réinfiltration d'eau et la fixation puis la dégradation de nombreux polluants.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail qui est le fruit des résultats de ma Thèse de Doctorat/Ph.D, je tiens à présenter à titre posthume les hommages à mes maîtres les Feux Professeurs Félix TCHOUA et Pierre WANDJI avec qui j'ai commencé le travail, mais qui nous ont

quitté. Mes remerciements vont aussi aux reviewers pour avoir considérablement amélioré la qualité de ce manuscrit.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CHEVERY C. (2001). Agriculture intensive et qualité des eaux. *Edition QUAE*. 297p.
- BERRYMAN D., GIROUX I. (1994). La contamination des cours d'eau par les pesticides dans les régions à cultures intensives du maïs au Québec. Campagnes d'échantillonnage de 1992 et. 1993, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques. *Envirodoq n° EN940594*, rapport n° PES-4, 134p. et 5 annexes.
- GEZE B. (1943). Géographie physique et géologie du Cameroun occidental. *Mém. Mus. Hist. Nat., Paris*, XVII, 273p.
- LITAL A., PACHEI K., DEELSTRA J. (2008). Monitoring of diffuse pollution from agriculture to support implementation of the WFD and the Nitrate Directive in Estonia. *Environmental science and policy*. 11, issue 2 April, 185-193.
- MOUNDI A., WANDJI P., BARDINTZEFF J.M., MENARD J.J., OKOMO ATOUBA L.C., MOUNCHEROU O.F., REUSSER E., BELLON H., TCHOUA F.M. (2007). Les basaltes éocènes à affinité transitionnelle du Plateau Bamoun, témoins d'un réservoir mantellique enrichi sous la ligne du Cameroun. *C.R Géosciences* 339. 396-406.
- NIKOLAIDIS C., MANDALOS P., VANTATAKIS A. (2008). Impact of intensive agricultural practices on drinking water quality in the EVROS Region NEGREECE by GIS analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*. Vol 143, n 2. 43-50.
- NJONFANG E. (1998). Contribution à l'étude de la relation entre la « Ligne du Cameroun » et la direction de l'Adamaoua. Thèse Doctorat d'Etat, *Université de Yaoundé*, 392p.
- Nat. Acad. Press, Washington DC., 1987. National Academy of Science: Regulating pesticides in food. 272p.
- OMS (1994). Directive de qualité pour l'eau de boisson. Contrôle de l'eau de boisson destinée à l'approvisionnement des petites collectivités. Genève, OMS, 3. 230p.
- OMS (2004). Directive de qualité pour l'eau de boisson. Recommandation. Genève, OMS, Vol 1, 202p.
- MOUNCHEROU O.F. (2015). Hydrogéochimie des systèmes d'aquifères associés aux roches volcaniques et aux sources minéralisées du Plateau Bamoun. Ligne volcanique du Cameroun. Thèse Doctorat/PhD, *Université de Yaoundé I*, 271p.
- MOUNCHEROU O.F., MOUNDI A., NDAM NGOU-PAYOU J.R. (2011). Paramètres chimiques et source lithologique de la minéralisation des eaux souterraines des aquifères du Plateau Bamoun, Ligne Vol-

- canique du Cameroun. *Revue BGS*, vol 72, part 1–3, 67 -78.
- MOUNCHEROU O., MOUNDI A., NGOUPAYOU J.R.N., WANDJI P., TONGA J.C., FELIX T. (2011). Impact des systèmes de production agricole sur les aquifères de la plaine volcanique du Noun (Cameroun) : Perspectives d’une exploitation durable des ressources en eau. Colloque international de Limoges sur l’eau 2011.
- MOUNCHEROU O.F., MOUNDI A. (2016). Hydro-géochimie des systèmes d’aquifères du plateau Bamoun Cameroun. *Verlagpublischung /Noor Publishing. omniscritum Gmbh & Co. Germany* 193p.
- TCHOKONA SEUWUI D., WANDJI P., BARDINTZEFF J.M., BELLON H., DEMAIFFE D. (2006). New petrological and geochemical data in the alkaline comenditic rhyolytes of Mbapit massif (Noun plain, Cameroon line): witness of extrusive volcanic activity during Eocene. Cities on Volcanoes. 4 Conference, Quito, January 23-27, 2006, S- IVA-54p.
- TCHOUA F. M. (1972). Le massif volcanique de Mbatpit (Pays Bamoun). *Ann. Fac. Sc. Cameroun*, N 9. 45-71.
- TCHOUA F. M. (1983). Les explosions magmato-phréatiques de Monoun (Cameroun). *Rev. Science et technique* vol. 3, N 1-2, Janvier-Avril, 1983, 87-97.
- WANDJI P. (1995). Le volcanisme récent de la plaine du Noun (Ouest Cameroun). *Volcanologie, pétrologie, géochimie et pouzzolanité*. Thèse doctorat Etat, *Université de Yaoundé I*, Cameroun, 295p.
- WANDJI P. (1985). Contribution à l’étude pétrographique, géochimique et géotechnique des projections volcaniques de la région de Foubot. Thèse 3^{ème} cycle. *Université de Yaoundé*, 158p.
- WHO (2004). Guidelines for Drinking Water Quality. Volume 1. Recommendations. World Health Organization, Geneva, 515p.