

DYNAMIQUE DE LA CONDUCTIVITÉ DANS LES EAUX DE SURFACE ET SOUTERRAINES DU SUD-OUEST DU NIGER : CAS DU LAC ET PUITTS DE YABONI

Maman Aminou AMADOU ABDOU*, **Zibo GARBA**
et **Amadou ABDOURHAMANE TOURE**

*Université ABDOU MOUMOUNI, Faculté des Sciences et Techniques,
Département de Géologie, BP 10662 Niamey, Niger*

* Correspondance, e-mail : matteaminou@yahoo.com

RÉSUMÉ

La mobilisation des ressources en eau est difficile au Sahel. Les eaux de surface et des nappes sont, par ailleurs, soumises à des pollutions diverses qui menacent leurs usages. Le présent travail vise à caractériser la conductivité électrique des eaux de surface et souterraine dans la région de Niamey en proie aux pressions anthropiques et changements climatiques. Différentes mesures sont effectuées sur le site de Yaboni, pour caractériser la pollution au sel. Ainsi les pluies événementielles ont été mesurée avec un pluviomètre à lecture directe, la limnimétrie et la piézométrie par lecture journalière sur les échelles limnimétriques et sur une sonde piézométrique sonneuse et lumineuse, et enfin la conductivité par mesure in situ avec un conductivimètre. Les résultats montrent une variation de la conductivité en lien avec les paramètres climatiques mesurés sur le site d'étude. Durant les trois années de mesures ; la durée de la saison des pluies a varié entre 150 et 158 jours pour un nombre d'événements pluvieux compris entre 35 et 44, et un cumul annuel des pluies, variant entre 427 et 832 mm. Le drainage climatique qui a varié entre -138 mm et 155 mm a été négatif neuf mois sur douze. Ces paramètres climatiques ont fortement impactés la conductivité des eaux du lac de Yaboni, et ceux des puits avoisinants. Les crues des eaux des puits et du lac sont étroitement liées au régime pluviométrique annuel. Les crues moyennes, sont de 3, 40 m pour la nappe et 2, 80 m pour les eaux du lac. Toutes les eaux mesurées sur le site de Yaboni montrent une conductivité inférieure à 500 $\mu\text{s/cm}$, et a varié de 30 à 280 $\mu\text{s/cm}$. Deux pics de forte conductivité ont été mis en évidence : le premier intervient en fin de saison des pluies suite à une dissolution des sels et leur acheminement dans les réservoirs d'eau et le second survient en pleine saison sèche suite à une évaporation intense et une concentration des sels dans les eaux du lac. Cette étude est intégratrice des tous les paramètres climatiques et anthropiques (Cultures par irrigation et engrais) pour contrôler et surveiller la salinisation des eaux et des sols qui menacent presque toutes les Terres.

Mots-clés : *conductivité, pluie, drainage climatique, lac Yaboni, Niamey.*

ABSTRACT**Conductivity dynamics in surface and groundwater in southwestern Niger : case of the lake and Yaboni well**

The mobilization of water resources is difficult in the Sahel. Moreover, surface and groundwater are subject to various forms of pollution that threaten their use. This work aims to characterize the electrical conductivity of surface and ground water in the Niamey region, subjected to anthropogenic pressures and climate change. Various measurements were carried out on the Yaboni site to characterize salt pollution. Thus, event precipitations were measured with a direct-reading rain gauge, limnometry and piezometry by daily reading on limnometric scales and on a sound and light piezometric probe, and finally conductivity by in situ measurement with a conductivity meter. The results showed a variation in conductivity in relation to the climatic parameters measured at the study site. During the three years of measurements; the length of the rainy season varied between 150 and 158 days for a number of rainy events ranging between 35 and 44, and an annual rainfall accumulation ranging between 427 and 832 mm. Climatic drainage which varied between -138 mm and 155mm was negative nine months out of twelve. These climatic parameters strongly impacted on the conductivity of the water in Yaboni Lake, and that of the neighboring wells. Flooding of well and lake water is closely linked to the annual rainfall regime. The average floods were 3.40m for the water table and 2.80m for the lake water. All waters measured at the Yaboni site showed conductivity lower than 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ and varied from 30 to 280 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Two peaks of high conductivity were found: the first occurs at the end of the rainy season following the dissolution of salts and their transport to the water reservoirs, and the second occurs in the middle of the dry season following intense evaporation and concentration of salts in the lake water. This study integrates all the climatic and anthropic parameters (crops grown by irrigation and fertilizers) to control and monitor the salinization of water and soil that threatens almost all the lands.

Keywords : *conductivity, rainfall, climatic drainage, lake Yaboni, Niamey.*

I - INTRODUCTION

Le Niger, tout comme le reste du Sahel, est impacté par des sécheresses chroniques depuis le début des années 1970 [1 - 3]. En effet, le Sahel est passé d'une période humide entre 1930 à et 1969 à une phase sèche marquée par des sécheresses récurrentes, une baisse des pluies de 20 voire 40 % et un retrait des isohyètes sur près de 200km vers le sud [4 - 10]. Les sécheresses qui ont été particulièrement sévères entre 1970 et 1989 ont entraîné d'importants changements environnementaux [11 - 13]. Au sud-ouest du Niger, les changements environnementaux dus à l'expansion des terres de cultures combinés aux sécheresses ont induit une augmentation considérable du

ruissellement et une hausse du niveau de la nappe phréatique d'environ 4 m entre 1963 et 2007 [14, 15]. Il a résulté la formation de plusieurs lacs dans les vallées fossilisées dont ceux de la zone de Saga Gourou à l'est de Niamey [16]. Les lacs continentaux constituent des écosystèmes favorables au développement de la biodiversité. Ils procurent des services socio-économiques dont entre-autres les produits de la pêche et du maraîchage. L'activité de maraîchage autour des plans d'eau, par exemple, constitue une alternative de résorption du récurrent déficit agricole dans la région de Niamey. En effet, les marchés de Niamey sont quotidiennement alimentés en produits halieutiques, maraichers, fruitiers et bois provenant des exploitations des domaines lacustres situés à l'Est de la ville. La pratique dominante, le maraîchage, se fait par irrigation du lit des lacs dans un contexte de forte insolation et d'usage non contrôlé d'engrais qui pourrait ainsi entraîner une salinisation des sols et l'eau. La salinisation est, en effet, un problème qui touche un dixième des terres irriguées de la planète dont 25 % se trouve dans les régions arides et semi arides [17]. Ce risque met en péril la production et la sécurité alimentaire, mais aussi les équilibres éco-systémiques [16, 18, 19]. Il s'avère donc nécessaire et fondamental de contrôler et de surveiller la teneur en sel pour une meilleure gestion des sols et des eaux dans ce milieu semi-aride. A cet effet, la mesure de la conductivité électrique est un moyen rapide de contrôle et de surveillance du degré de salinisation des eaux et des sols. L'objectif de ce travail est de caractériser la dynamique de la salinisation dans un lac, un puits villageois et un puits agricole de Niamey. Il s'est spécifiquement agi de suivre la dynamique saisonnière et inter saisonnière de la conductivité, et de déterminer la variation spatiale de la salinité en lien avec les paramètres climatiques.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Site d'étude

Le lac de Yaboni (N13, 685° N – 13,435) et (E 2,122 -2,30) se trouve dans le koris de Ouallam, un affluent fossile du fleuve Niger. Au sein de ce grand koris, les lacs sont en chapelet sur un axe nord-sud. Le lac Yaboni qui se trouve à l'exutoire de son bassin versant vaste de 1445 ha, couvre une superficie de 1,5 ha pour un périmètre de 1190 m et une profondeur maximale de 5,30 m (*Figure 1*). Ce lac est devenu permanent depuis le début des années soixante suite à la remontée de la nappe phréatique observée dans les régions de Niamey [12]. Le bassin versant et les rivages de ce lac, supportent des cultures pluviales de mil. Les rives sont de plus en plus occupées par des cultures de rente (*Moringa*, piment vert, chaux, mangues, etc.) et des plantes d'eucalyptus pour l'exploitation du bois. La géologie dans le bassin versant présente des dépôts sableux du quaternaire, des grés du continental terminal (CT) reposant en

discordance sur le socle birimien du Liptako. Le climat, typiquement sahélien est dominé par 2 vents : L' harmattan, un vent, venant du nord-Est et qui souffle entre octobre et avril ; et la mousson, vent du sud-ouest chargé d'humidité qui souffle entre mai et septembre [13]. La pluviométrie moyenne annuelle mesurée à Niamey depuis 1905 est de 525 mm [7].

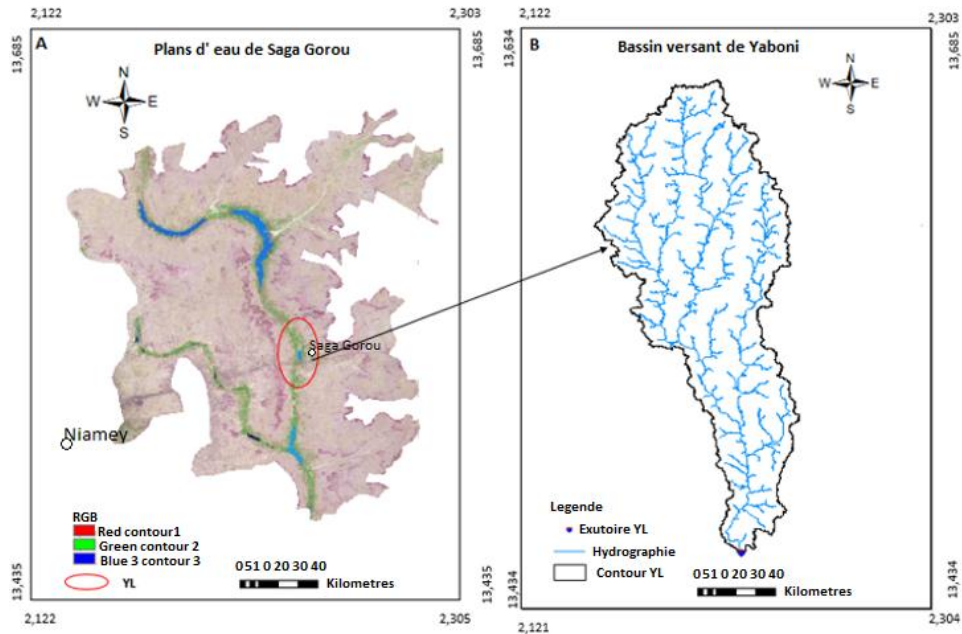


Figure 1 : Carte de présentation de la zone d'étude

II-2. Mesures de la hauteur des pluies

Elle est mesurée à l'aide d'un pluviomètre à lecture directe installé à 150 cm du sol et 50 m des rives du lac Yaboni (**Figure 2B**). Les mesures des pluies, débutées le 21 mai 2017, sont effectuées après chaque événement. Les pluies mesurées à la station synoptique de Niamey aéroport situé à 4 km au sud de Yaboni ont été également utilisées. La mesure et les données de pluies ont permis de déterminer des facteurs essentiels des processus hydrologiques et hydrogéochimiques : la date du début de saison, l'intensité des premières pluies, la durée entre deux pluies successives, la durée de la saison, les cumuls mensuel et annuel. Tous ces paramètres dérivés de la pluie ont été caractérisés dans le bassin du lac Yaboni.

II-3. Données du drainage climatique dans le secteur de Yaboni

Les données de l'évapotranspiration potentielle (ETP) ont été acquises auprès de la station météorologique de l'aéroport de Niamey pour déterminer le

drainage climatique. Le drainage climatique représente la différence entre les précipitations (P) et l'évapotranspiration potentielle (ETP) d'une localité. Si les pluies sont plus importantes (Pluies supérieures à ETP) alors le drainage climatique est positif et les sels sont évacués par lessivage. Par contre si les pluies sont inférieures à l'ETP, alors, le drainage climatique est négatif et le sel s'incruste dans les sols et se concentre dans les eaux [17].

II-4. Mesures de la limnimétrie du lac Yaboni

Les mesures limnimétriques ont consisté à suivre les variations de la hauteur des eaux du lac Yaboni. Elles ont été réalisées avec des échelles limnimétriques (**Figure 2A**). Trois éléments d'échelles ont été installés au niveau du lac, sur sa rive ouest. Les mesures limnimétriques ont été réalisées chaque matin entre 08 heures et 10 heures, et le soir entre 17 heures et 18 heures.

II-5. Mesures du niveau piézométrique

Les mesures du niveau piézométrique visaient à suivre la dynamique des nappes sur le site de l'étude. Le niveau piézométrique est mesuré chaque matin entre 08 heures et 10 heures et chaque soir entre 17 heures et 18 heures, à l'aide d'une sonde piézométrique sonneuse et lumineuse mini d'un câble long de 100 m (**Figure 2C**). Les mesures ont été réalisées au niveau de 2 puits distants d'à peu près 60 m, sélectionnés selon des critères d'usage et de distance vis-à-vis du lac. Ainsi, le puits YP1 (Yaboni puits n°1) est un puits villageois (utilisé pour alimentation en eau du village) situé à 60 m du lac Yaboni ; le puits YP2 (Yaboni Puits n°2), est un puits maraîcher, situé dans la plaine d'inondation du lac (**Figure 2C**).



Figure 2 : A : Echelle limnimétrique, B : pluviomètre ; C : mesure du niveau piézométrique avec une sonde piézométrique

II-6. Mesures de la conductivité des eaux du lac et puits de Yaboni

La conductivité de l'eau du lac Yaboni ont été mesurés in situ avec un conductivimètre multiparamètres de type VWR (*Figure 3*). Les mesures ont été faites de selon une fréquence de 1 à 3 semaines en fonction des saisons. Des mesures exceptionnelles ont été réalisées durant la saison des pluies (mai – octobre) après chaque évènement pluvieux.



Figure 3 : *Conductivimètre utilisé pour la mesure de la conductivité sur le site de Yaboni*

III - RÉSULTATS ET DISCUSSION

III-1. Variation de la pluie à Yaboni

Les résultats de la variation de la pluie sont présentés dans les *Tableaux 1, 2* et la *Figure 4*. Il ressort de leur analyse que le début de la saison des pluies a variée d'une année à l'autre. Ainsi, la saison des pluies 2017 débuté le 03 avril, a été précoce de 23 et 17 jours relativement à 2018 et 2019 respectivement. Par ailleurs, les deux évènements les plus pluvieux de la saison 2017, ont été enregistrés au début de la saison des pluies (entre mai et juin) contrairement à 2018 et 2019 où ils ont été enregistrés en juillet (*Figure 4*). Le nombre d'évènements pluvieux a été de 44, 40, et 35 respectivement en 2017, 2018, 2019 pour une durée saisonnière de 150 jours pour 2019, et 158 jours pour 2017 et 2018. Les mesures de Yaboni confirment donc la variabilité des pluies au Sahel [7]. En effet, la durée, le début et le nombre d'évènement des pluies ont varié d'une saison à une autre. La distribution des paramètres statistiques présentés (*Tableaux 1 et 2*) montre la disparité saisonnière et intersaisonnière des pluies. En effet, il est apparu que : i) les hauteurs moyennes annuelles et le

nombre d'événement pluvieux sont en baisse de 2017 à 2019. Il apparait ainsi un rôle important du nombre d'événement pluvieux dans les hauteurs annuelles de pluies. Les situations de 2017 et 2018 montrent cependant que l'importance de cette hauteur annuelle des pluies n'est pas intimement liée à la durée de la saison (pour une même durée : 158 jours, 2017 a été largement plus pluvieux que 2018). Sur les trois années de mesure, il est aussi apparu que la forte dispersion des pluies est intervenue au cours de l'année la pluvieuse (CV = 1,4 en 2017) (**Tableau 2**). La hauteur moyenne de pluie des 3 années hydrologiques a été de 580 ± 230 mm. Cette moyenne supérieure à celle (525 mm) déterminée entre 1950 et 2007 confirme le retour des années plus pluvieuses observé à Niamey depuis la fin des années 1980 [7].

Tableau 1 : Distribution des pluies de 2017 à 2019

	Année	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Total
Hauteur de pluie (mm)	2017	3,2	106,3	206	188,6	262,5	55,1	13,33	831,83
	2018	0	20	55	127,5	196,5	64	14	477
	2019	0	19	68	117	111	66,3	46	427,3
Événement de pluie (nombre)	2017	1	4	7	10	16	6	1	44
	2018	0	2	4	8	16	8	2	40
	2019	0	1	5	8	9	8	4	35

Tableau 2 : Distribution statistique des données de la pluie (n correspond au nombre d'évènement de pluie, Moy : hauteur moyenne d'un évènement de pluie, CV : coefficient de variation des hauteurs événementiels, Min (Médiane, Max) : hauteur de pluies minimale (médiane, maximale)

	n	Moy	CV	Min	Médiane	Max	Cumul annuel (mm)
Saison 2017	44	18,6	1,4	0,3	10,4	135,9	835,0
Saison 2018	40	14,9	1,1	1,5	9,0	83,0	477,0
Saison 2019	35	12,2	0,9	0,5	12,0	48,0	427,3
Moyenne	39,67						579,8

Les hyétogrammes et les courbes des hauteurs des pluies cumulées (**Figures 4**) montrent une distribution contrastée plus remarquable en 2017 et en 2019, où respectivement, 38 % des pluies (315 mm) et 21 % des pluies (82 mm) sont tombées entre mai et juin. Les mois, les plus pluvieux (juillet et août) ne totalisent en 2017 que 54 % (451 mm), contre 53,4 % (228 mm) en 2019, tranchant nettement avec la tradition de 65 à 70 % des pluies tombées à la même période [7]. La répartition temporelle de la durée entre 2 évènements pluvieux successifs a montré que durant l'année la plus pluvieuse (2017), les pluies sont très rapprochées. En effet, en 2017, soixante-deux pourcents des

événements pluvieux (cumulant 520 mm) sont espacées d'au plus 3 jours. En 2018 et 2019, par contre, la durée moyenne entre deux événements de pluie a varié de 1 à 5 jours. Le cumul et les fréquences des pluies en fin de saison (septembre-octobre) ont été, relativement au cumul annuel, inversement en hausse de 2017 à 2019 (*Tableau 1*).

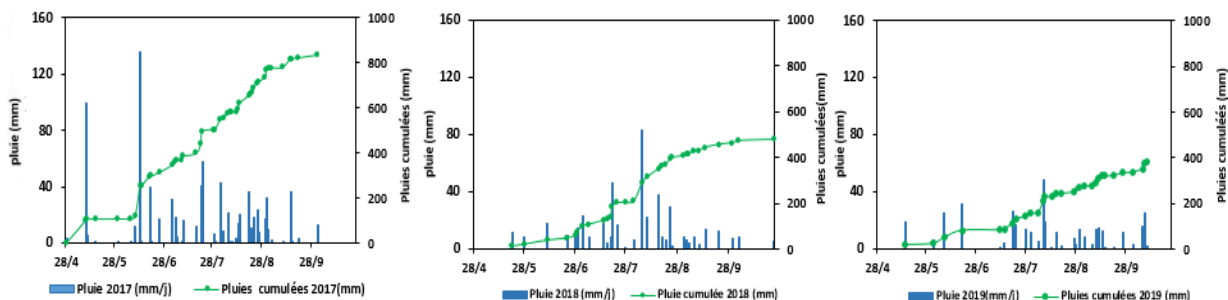


Figure 4 : Hyétogrammes et courbes des fréquences cumulées respectifs de 2017, 2018 et 2019

III-2. Dynamique du drainage climatique

L'évapotranspiration potentielle, particulièrement élevé dans le site de l'étude, a été marquée par un drainage globalement négatif de 2017 à 2019 (*Tableau 3 et Figure 5*). Le drainage climatique n'est positif qu'en milieu de saisons pluvieuses (juillet et août) où plus de la moitié des cumuls de pluies sont enregistrés. Au mois de juin, le drainage climatique a été contrasté : négatif en 2018 et positifs en 2017 et 2019 (*Tableau 3 et Figure 5*). Cette variabilité du drainage climatique durant le mois de juin pourrait être liée aux hauteurs et fréquences des pluies qui ont été plus importantes en 2017 et 2019 relativement à 2018 (*Tableau 1*). Il faut, aussi, souligner le caractère exceptionnel de l'année 2017, qui présente un drainage climatique faiblement négatif en mai du fait d'un cumul de pluie tout aussi exceptionnel de 106 mm.

Tableau 3 : Variation du drainage climatique entre 2017 et 2019 à Yaboni

Drainage (mm)	janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Drainage_2017	-86,1	-93,3	-137,5	-116,6	-2,6	91,6	68,4	154,4	-60,8	-108,07	-97,9	-81,4
Drainage_2018	-89,4	-98,3	-124,6	-129,2	-88,8	-62,6	7,7	87,9	-47,9	-96,4	-95,8	-85,4
Drainage_2019	-90,2	-99,2	-114,1	-115,8	-88,3	9,3	-31,6	10,2	-55,3	-59,2	-	-

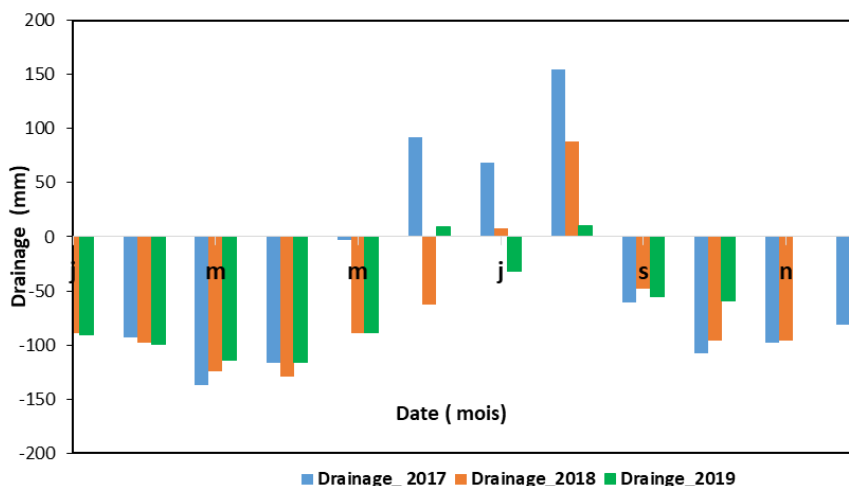


Figure 5 : Variation du drainage climatique de 2017 à 2019

III-3. Limnimétrie des eaux du lac Yaboni

Le lac Yaboni se caractérise par un cycle de remplissage (saison des pluies) et de vidange (arrêt des pluies) déterminant les épisodes limnimétriques fortement influencés par le régime pluviométrique (*Figure 6*). Le début des crues (remplissage), à l'exception de la saison des pluies 2017 marquée par de fortes pluies en son début (*Figure 4*), a accusé un retard relativement au début des pluies (de 23 jours en 2018 et 17 jours en 2019). Le lac Yaboni a été plus réactif que le lac Bangou Bi (Sud-Est de Niamey) où le temps de réponse a varié entre 1 à 2,5 mois entre 2008 et 2010 [22]. L'amorce rapide de la crue à Yaboni pourrait s'expliquer par la forte densité du réseau de ses affluents sur l'ensemble de son bassin versant (*Figure 1*). Il a ainsi résulté une durée de 108, 49 et 62 jours des crues et une amplitude des crues de 313, 178, 210cm respectivement en 2017, 2018 et 2019 (*Figure 6*). S'il n'apparaît pas une relation directe entre la durée et l'amplitude des crues de Yaboni avec la pluie (cumul et nombre d'événement de pluies), l'année la plus pluvieuse (2017) a été celle qui a enregistré la forte et longue crue (*Figure 6*). La vidange de Yaboni a partout commencé avant la fin de la saison des pluies : 31, 07 et 13 août en 2017, 2018 et 2019 respectivement (*Figure 6*). La décrue tardive en 2017 est très probablement liée au drainage climatique qui est resté très élevé tout le mois d'août (*Tableau 3*). Ce drainage relativement faible en 2018 et 2019 traduit une évaporation relative plus importante ayant entraîné l'amorce précoce de la décrue au cours de ces années.

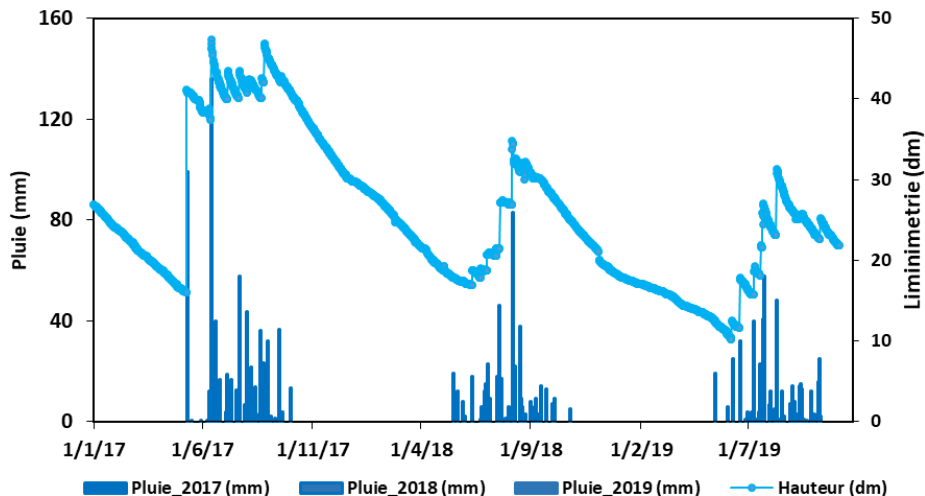


Figure 6 : Relation entre pluie et niveau d'eau dans le lac

III-4. Variations piézométriques des puits de Yaboni

La dynamique piézométrique des puits de Yaboni se caractérise par un cycle de remontée (hausse) et de baisse qui a été fortement influencé par la pluviométrie (*Figure 7*). La remontée du niveau piézométrique a été particulièrement influencée par les caractéristiques des premières pluies. En effet, la remontée a été systématique pour tous les puits suite à une première pluie exceptionnelle (99 mm enregistrés le 10 mai 2017) (*Figure 7*). Elle a cependant marqué un temps de réponse qui peut atteindre jusqu'à deux mois en 2018 et 2019 (*Figure 7*). Relativement au début de la saison des pluies de 2018 et 2019, la remontée des eaux marque alors un temps de réponse généralement plus long que celui des eaux du lac Yaboni (23 jours). La phase de décrue au niveau de tous les puits de Yaboni a commencé en septembre soit un mois après l'amorce de la baisse des eaux du lac Yaboni. La dynamique des niveaux statiques des puits autour du lac Yaboni (*Figure 7*) présente une variabilité saisonnière et selon la distance des puits au lac. Ainsi, la durée des crues de la nappe a été de 118 jours en 2017, 98 jours en 2018 et 55 jours en 2019 pour YP1 ; et de 115 jours en 2017, 53 jours en 2018 et 41 jours en 2019, pour YP2. Quant à l'amplitude de la montée de la nappe, elle a ainsi été de 5 et 2,54 m pour YP1 ; et de 4,3 et 2,5 m pour YP2 en 2017 et 2018 respectivement. Il ressort donc aussi bien la durée que l'amplitude des crues suit la nature de la saison des pluies. En effet, plus l'année est pluvieuse plus la durée et l'amplitude des crues deviennent importantes. Il est apparu aussi à l'échelle de nos mesures que le puits YP1 distant de 100 m du lit du lac a présenté, durant toutes les trois années, les plus fortes durée et amplitudes de crue que YP1 qui se trouve dans le lit du lac Yaboni. Les hausses moyennes

du niveau piézométrique dans les puits de Yaboni (entre 3 et 4 m) sont du même ordre de grandeur que celles déterminées de 1992 à 2000 au niveau de la nappe phréatique dans le continental terminal du sud-ouest Niger qui a été de 1 à 3 m [20, 23]).

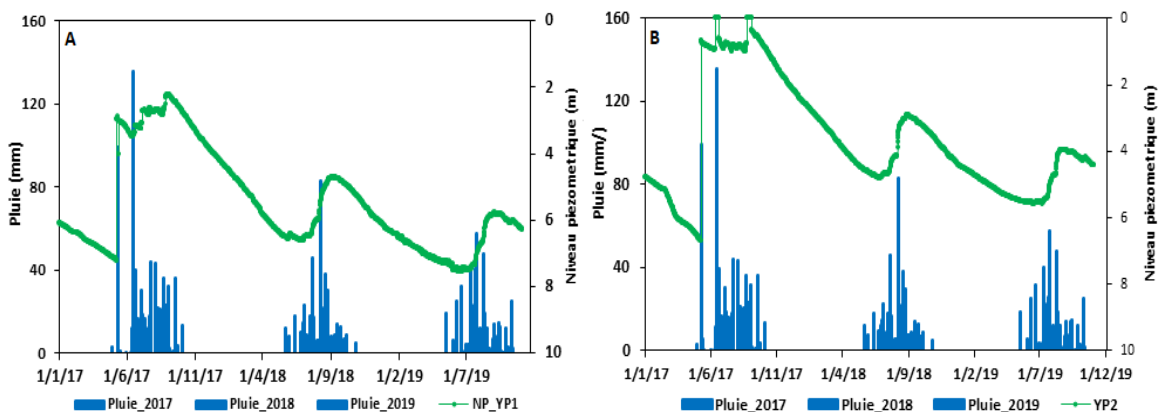


Figure 7 : Variations du piézométrique et de la pluie à Yaboni (A : YP1 ; B : YP2)

III-5. Conductivité des eaux du lac et des puits de Yaboni

La conductivité a été mesurée entre 2017 et 2019 couvrant plus de 2 cycles hydrologiques (avril-mai). Le nombre des mesures dans les eaux du lac et des puits a varié de 67 à 72. Sur tous les 2 cycles hydrologiques, la conductivité a été en moyenne de 1,7 à 2,5 fois plus faible dans les eaux du lac que dans celles des puits (*Figures 8 et Tableau 4*). La forte conductivité dans les puits a été liée entre autres aux pompages qui font converger vers les puits les eaux environnantes, mais aussi à la présence de source souterraine potentielle de sel : dépôts d'évaporites en particulier [24]. La conductivité dans les eaux des puits (moins de 300 $\mu\text{s}/\text{cm}$) a été en moyenne largement inférieure à celle des aquifères de la plaine alluvionnaire du fleuve Niger (400 – 2400 $\mu\text{s}/\text{cm}$) [24]. La conductivité aussi bien dans les eaux de surface que celles souterraines a, cependant, connu une variabilité intra et interannuelle. La variabilité interannuelle montre une conductivité en moyenne deux fois plus forte entre mai 2017 et avril 2018 qu'entre mai 2018 et avril 2019 (*Figures 8*). Cette variabilité est très probablement liée à la pluie. En effet, la hauteur des pluies entre mai 2018 et avril 2019 a diminué de (44 %) comparativement à la période mai 2017 - avril 2018 (*Figures 4*). Les plus fortes pluies enregistrées de mai à septembre 2017 ont très certainement entraîné un ruissellement et une infiltration plus efficaces qui ont drainé des sels dissouts à la fois dans les eaux souterraines et de surface qui ont vu la conductivité de leurs eaux augmentée. La variabilité intra annuelle quant à elle, décèle une évolution bimodale des

conductivités. En effet, la conductivité augmente progressivement pendant la saison des pluies pour atteindre le maximum en fin de saison de pluie (septembre à octobre) (**Figures 9**). Elle atteint son deuxième pic en fin de saison sèche (mars, avril) (**Figures 9**). Ces variations qui s'observent aussi bien dans les eaux souterraines que dans celles de surface s'expliquent par 2 phénomènes majeurs : La dissolution (1^{er} pic) et l'évaporation (2^{ème} pic). En effet, le bassin versant du lac de Yaboni est dominé par la culture des mils pour laquelle des engrais chimiques sont souvent utilisés. Les berges du lac sont dominées par le maraîchage très intensif pendant la saison sèche. Les activités de maraîchage font plus appels à l'usage des engrais et des pesticides mais aussi à l'irrigation en contexte de fort drainage climatique (**Tableau 3 ; Figure 5**) entraînant ainsi une salinisation des sols [17]. Ainsi pendant la saison des pluies, les sels incrustés dans les sols sont progressivement dissouts et drainés dans les réservoirs d'eau, augmentant ainsi leurs conductivités. Le second pic, intervient en l'absence d'apport d'eau dans les réservoirs et dans un contexte d'évaporation importante (**Tableau 3**). Cette évaporation diminue le volume des réservoirs (basses piézométrique et limnimétrique) et concentre les sels dans les eaux qui voient ainsi leurs conductivités augmentées (**Figures 9**). Il est apparu par ailleurs une différence de plus de 2 ordres de grandeurs de la conductivité entre les puits YP1 et YP2 distant seulement de 60 m (**Figures 9 ; Tableau 4**). La plus forte conductivité dans YP1 pourrait être due à la proximité d'une source potentielle de sel : dépôts d'évaporites et/ou à une lithologie différente (roche plus alcaline) de celle de YP2 [25]

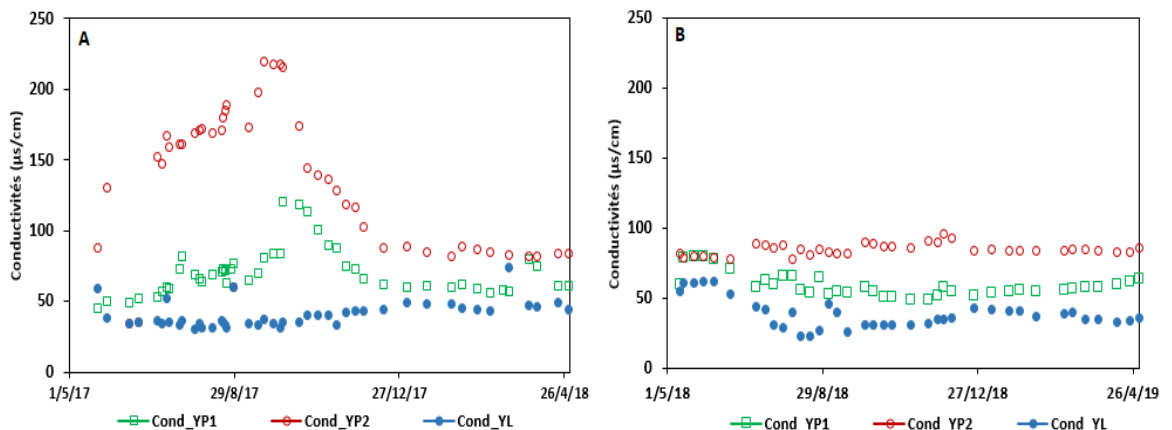


Figure 8 : *Évolution relative de la conductivité au cours de deux saisons (A : 2017/2018 ; B : 2018/2019)*

Tableau 4 : Paramètres statistiques des conductivités ($\mu\text{s}/\text{cm}$) (n correspond au nombre des mesures, Moy : moyenne, CV : coefficient de variation des conductivités, Min (Médiane, Max) : conductivité minimale (médiane, maximale)

	n	Moy	CV	Min	Médiane	Max	Etendue
Cond_YL	72	39,21	0,24	22,41	36,90	74,54	52,13
Cond_YP1	69	65,45	0,23	44,99	60,68	120,54	75,54
Cond_YP2	67	110,69	0,39	34,24	88,08	219,00	184,76
Cond : Conductivité ($\mu\text{s}/\text{cm}$)							

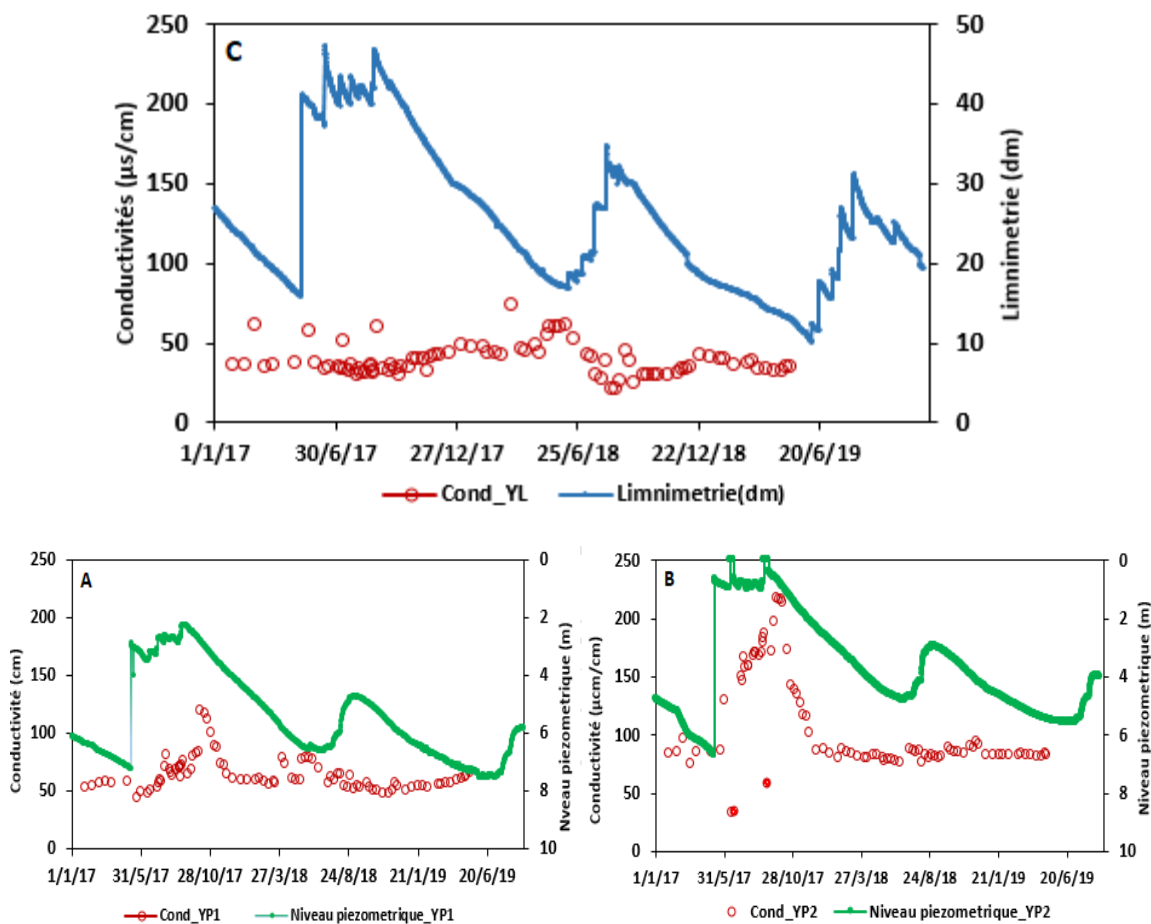


Figure 9 : Conductivités en relation avec les hausses des niveaux d’eaux (A : YP1 ; B : YP2 ; C : YL)

(Les axes des ordonnées des niveaux piézométriques sont en valeurs inverses)

IV - CONCLUSION

Le présent travail a visé à caractériser la dynamique saisonnière et inter saisonnière de la conductivité, et à déterminer la variation spatiale de la salinité en lien avec les paramètres climatiques. Concernant les paramètres climatiques, il est ressorti que la durée de la saison des pluies a varié entre 150 et 158 jours pour un nombre d'événements variant entre 35 et 44 et un cumul annuel des pluies compris entre 427 et 832mm. Le drainage climatique qui est compris entre -138 mm et 155 mm a été négatif neuf mois sur douze. Les eaux souterraines (puits YP1 et YP2) et de surface ont connu des durées et amplitude de crues variables durant les saisons des pluies des trois années de mesure. La crue de la nappe intervient entre juillet et septembre et atteint en moyenne 3,40 m tandis que celle du lac survient entre juillet et août avec une amplitude de 2,80m en moyenne. Par ailleurs, aussi bien les eaux des puits que du lac ont une conductivité inférieure à 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ et qui a varié entre 30 et 280 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Deux pics de forte conductivité ont été mis en évidence : le premier intervient en fin de saison des pluies suite à un entrainement de sels dissouts dans les réservoirs d'eau et le second survient en plein saison sèche suite à une évaporation intense et une concentration des sels dans les eaux du lac et de la nappe.

RÉFÉRENCES

- [1] - P. HIERNAUX, et H. N. LE HOUEROU, « Les parcours du Sahel. *Sècheresse* », 17 (1 - 2) (2006) 51 - 71 p.
- [2] - T. L'HÔTE, G. MAHÉ, B. SOMÉ et J. P. TRIBOULET, « Analysis of a Sahelian annual rainfall index from 1896 to 2000, the drought continues ». *Hydrological Sciences Journal*, 47 (4) (2002) 563 - 572 p.
- [3] - T. VISCHÉL, G. PANTHOU, P. PEYRILLÉ, R. ROEHRIG, G. QUANTIN, T. LEBEL, C. WILCOX, F. BEUCHER et M. BUDIARTI, « Precipitation Extremes the West African Sahel: Recent Evolution and Physical Mechanisms ». *Tropical Extremes : Elsevier*, (2019) 95 - 138 p.
- [4] - A. ALI, A. AMANI et T. THIERRY LEBEL, « Estimation des pluies au Sahel : utilisation d'un modèle d'erreur pour évaluer réseaux sol et produits satellitaires ». *Sècheresse*, 15 (3) (2004) 271 - 8
- [5] - L. DESCROIX, A. DIONGUE NIANG, G. PANTHOU, A. BODIAN, Y. SANE, A. DACOSTA, M. MALAM ABDU, J. P. VANDERVAERE, G. QUANTIN, « Évolution récente de la pluviométrie en Afrique de l'ouest à travers deux régions : la Sénégambie et le bassin du Niger moyen ». *Climatologie*, Vol. 12, (2015) 25 - 43 p.
- [6] - B. DIEPPOIS, A. DURAND, M. FOURNIER, N. MASSEI et B. HASSANE, « Relations entre la pluviométrie au sahel central et divers indices climatiques sur l'atlantique : exemple de la station de Maïnesoroa (SE Niger) entre 1950 et 2005 ». *23ième Colloque de l'Association Internationale de Climatologie, Rennes*, (2010)

- [7] - T. LEBEL, A. ALI, "Recent trends in the central and western Sahel rainfall regime (1990–2007)". *J. Hydrol.*, 375 (2009) 52 - 64. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.11.030>
- [8] - T. LEBEL, A. DIEDHIOU, H. LAURENT, "Seasonal cycle and interannual variability of the Sahelian rainfall at hydrological scales." *J. Geophys. Res.*, 108 (2003) 8389, <https://doi.org/10.1029/2001JD001580>
- [9] - G. PANTHOU, T. VISCHEL, T. LEBEL, "Recent trends in the regime of extreme rainfall in the Central Sahel". *Int. J. Climatol.*, 34 (2014) 3998 - 4006, <https://doi.org/10.1002/joc.3984>
- [10] - C. M. TAYLOR, C. E. BIRCH, D. J. PARKER, N. DIXON, F. GUICHARD, G. NIKULIN, & G. M. LISTER, "Modeling soil moisture-precipitation feedback in the Sahel: Importance of spatial scale versus convective parameterization". *Geophysical Research Letters*, 40 (23) (2013) 6213 - 6218
- [11] - C. DARDEL, L. KERGOAT, P. HIERNAUX, E. MOUGIN, M. GRIPPA, & C. J. TUCKER, "Re-greening Sahel: 30 years of remote sensing data and field observations (Mali, Niger)". *Remote Sensing of Environment*, 140 (2014) 350 - 364
- [12] - F. GEMENNE, J. BLOCHER, F. DE LONGUEVILLE, S. VIGIL DIAZ TELENTI, C. ZICKGRAF, D. GHARBAOUI et P. OZER, "Changement climatique, catastrophes naturelles et mobilité humaine en Afrique de l'Ouest". *Geo-Eco-Trop*, 41 (2017) 317 - 337 p.
- [13] - A. MOUSSA ISSAKA, "Dynamiques érosives et des états de surfaces dans la partie nigérienne du bassin du lac Tchad", Thèse de doctorat. Niamey : Université Abdou Moumouni, (2014) 180 p.
- [14] - G. FAVREAU, "Caractérisation et modélisation d'une nappe phréatique en hausse au sahel : dynamique et géochimie de la dépression piézométrique naturelle du Kori de Dantiandou (sud-ouest du Niger)", thèse de l'université Paris-sud, 11 (2000) 348 p.
- [15] - S. MASSUEL, "Evolution récente de la ressource en eau consécutive aux changements climatiques et environnementaux du sud-ouest du Niger, modélisation des eaux de surface et souterraine du kori de Dantiandou sur la période 1992-2003" *Thèses de doctorat*, université de Montpellier II, (2005) 298 p.
- [16] - A. ABDOURAHAMANE TOURE, RODRIGUE, Z. GARBA, R. JEAN – LOUIS, P. CHRISTOPHE, B. VINCENT, D. ALAIN, S. DAVID, "Evolution des paysages Sahéliens au cours des six dernières décennies dans la région de Niamey : de la disparition de la brousse tigrée à l'encroustement de surfaces des sols. Sahelian landscap evolution during the six last decades in the Niamey vicinity: from the tiger bush disappearing to the soil crusting". *Pangea*, (2010) 47/48, (2010) 35 - 49 p.
- [17] - S. EVA, "salinisation des sols menace pour les sels de la Terre" (2014). [http : www.conglobe.com/salinisation de - sols - cg.](http://www.conglobe.com/salinisation-de-sols-cg), (Décembre 2019)
- [18] - M. LEBLANC, G. FAVREAU, S. MASSUEL, S. O. TWEED, M. LOIREAU, B. CAPPELAERE, "Land clearance and hydrological change in the Sahel : SW Niger". *Scence Direct, Global and planetary change*, 61 (2008) 135 - 50

- [19] - A. MOUSSA ISSAKA, A. ABDOURAHMANE TOURE, H. HASSANE, & Z. GARBA, « Dynamique du ravinement en milieu dunaire dans la partie nigérienne du bassin du Tchad » : *Geo-eco-Trop*, 42, 2 (2018) 337 - 342. [Httpwww.geoecotrop.be](http://www.geoecotrop.be) (Décembre 2019)
- [20] - C. LEDUC, A. KARBO, « Variabilité spatio-temporelle de l'impact de l'infiltration sur la nappe phréatique du Continental Terminal (Hapex-Sahel, Niger). in : "Interactions surface continentale / atmosphère " : l'expérience Hapex-Sahel", actes des x^e (?) journées hydrologiques, Montpellier, 1994. *ORSTOM colloques et séminaires*, Bondy, France, (1996) 449 - 462
- [21] - M. SOU, « Variabilité temporelle de la recharge de la nappe au Niger semi-aride. Etude de la mare endoréique de Banizoumbou » (1996-2002). *Mémoire de stage* de Maîtrise de l'Université Montpellier II (2003). Disponible en ligne sur <http://www.mevhysa.com> HYPERLINK "http://www.mevhysa.com" www.mevhysa.com modifié en 2003 consulté le 09/07/2012
- [22] - A. ABDOURAHAMANE TOURE, « Erosion en milieu sableux cultivé au Niger : Dynamique actuelle et passée en liaison avec la pression anthropique et les changements climatiques » Thèse de doctorat de l'université de Bourgogne, (2011) 113 p.
- [23] - T. JEAN-DENIS, « Approches hydrodynamique et géochimique du fonctionnement hydrologique dans la dépression piézométrique fermée de Dantiandou (Niger occidental) ». in : "Résumés du colloque PNRH", colloque de Toulouse, Toulouse, France, (2000) 303 - 310
- [24] - J. P. CHIPPAUX, S. HOUSSIER, P. GROSS, C. BOUVIER & F. BRISSAUD, « Étude de la pollution de l'eau souterraine de la ville de Niamey, Niger », (2002)
- [25] - C. LEDUC, F. LENOIR, « Etude de la recharge de la nappe du continental Terminal en rive gauche du Niger », (1995) 127 p.