

## ESTIMATION DES APPORTS PLUVIOMETRIQUES AUX SOURCES D'EAU SITUEES DANS LE MICRO-BASSIN DE LWIRO-CIRHANYOBWA: IRHAMBHI-KATANA, KABARE, SUD-KIVU, RDC

### [ EVALUATION OF THE PLUVIOMETRIC CONTRIBUTION TO THE WATER SPRINGS SITUATED IN THE MICRO-BASIN OF LWIRO-CIRHANYOBWA RIVERS: IRHAMBHI-KATANA, KABARE, SOUTH-KIVU, DRC ]

*M. KAJIVUNIRA<sup>1</sup>, M. J-P. BAKULIKIRA<sup>1</sup>, M.D. BUGOMA<sup>1</sup>, L. C. NSIMBA<sup>2</sup>, K. ZIGASHANE<sup>3</sup>, and A. MAHESHE<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Département de l'Environnement,  
Centre de Recherche en Sciences Naturelles, CRSN/Lwiro, D.S./Bukavu,  
Bukavu, Sud Kivu, RD Congo

<sup>2</sup>Département de Géophysique,  
Centre de Recherche en Sciences Naturelles, CRSN/Lwiro, D.S./Bukavu,  
Bukavu, Sud Kivu, RD Congo

<sup>3</sup>Institut Supérieur Pédagogique, I.S.P/Kabare  
Bukavu, Sud Kivu, RD Congo

<sup>4</sup>Université Libre de Grands Lacs, ULGL/Bukavu,  
Bukavu, Sud Kivu, RD Congo

---

Copyright © 2015 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

**ABSTRACT:** This study is located in the sub-basin of the Lwiro. The method of Thornthwaite and statistical method were used. The values of monthly evapotranspiration have been estimated 60 mm for the months of June to July and 70mm for the remain months. A simplified outcome of the rain compared with the evapotranspiration for the period of 15 years (1999-2013) has showed that our sector of study is in its whole humid... About the 15 years of our observation period, 8 years have been qualified «dries», and 7 have been qualified «damps or humid». According to the data on the easily reserve usable as well as that of the effective filtrations, the right interval of time to the identification and to the catching of water's springs intended to supply the population in drinking water has been situated between the end of the month of May and August. The minimum pluviometric module in the sub-basin has 95 chances out of 100 so that it shall be included between 1291.98 mm and 1921.98 mm or although 5 chances out of 100 so that it shall be out of this interval. For the annual maximum pluviometric module in the sub-basin, there no chance for the interval of 50 years so that it being taken back. Then, for the civil engineering works, it agreed to take this pluviometric module value of 2182.0 mm like the minimum capacity of collectors. Nevertheless, it will be maximum value in case of technical or financial problems.

**KEYWORDS:** Potential evapotranspiration, real evapotranspiration, effective filtrations, hydrologic outcome, slope sub-basin.

**RESUME:** L'étude a été effectuée dans le sous-bassin de Lwiro - Cirhanyobwa, située dans la partie occidentale du Lac Kivu. Le bilan hydrologique a été déterminé par la méthode de Thornthwaite ; le calcul du module, de l'indice pluviométrique de 50 ans (1963 - 2013), la détermination de la fréquence des hauteurs des précipitations et de la dispersion des observations autour de la valeur centrale ont été fait statistiquement. Les valeurs d'évapotranspiration mensuelles sont estimées autour

de 60 mm pour les mois de Juin – Juillet et autour de 70mm pour le reste des mois. Un bilan simplifié de la pluie par rapport à l'évapotranspiration pour 15 ans (1999-2013) a montré clairement que le secteur d'étude est dans son ensemble humide. Sur les 15 années de la période d'observation, 8 années sont qualifiées « sèches » et 7 années autres, « humides ». L'intervalle de temps propice à l'identification et au captage des sources d'eau pour la population a été situé entre la fin du mois de Mai et la fin du mois d'Août. Le module pluviométrique minimal dans le sous-bassin a 95 chances sur 100 pour qu'il soit compris entre 1291.98 mm et 1921.98mm ou encore cinq chances sur 100 pour qu'il soit extérieur à cet intervalle. Alors pour les travaux de génie civil, il conviendrait de prendre cette valeur du module pluviométrique de 2182.0 mm comme la capacité minimale de collecteurs et elle est maximale en cas de problèmes techniques ou financiers.

**MOTS-CLEFS:** Evapotranspiration potentielle, évapotranspiration réelle, infiltrations efficaces, bilan hydrique, bassin versant.

## 1 INTRODUCTION

L'importance de l'eau pour la vie sur Terre en général et pour les activités de l'homme en particulier fait que les scientifiques et les gestionnaires de l'environnement s'inquiètent désormais des conséquences des variabilités climatiques sur le cycle hydrologique, la disponibilité et la qualité de la ressource en eau. En effet, la question de la disponibilité et d'accès à l'eau est sans aucun doute un des problèmes majeurs auquel devra faire face l'humanité durant le siècle à venir [1]. Les changements climatiques de deux derniers siècles constituent aujourd'hui un fait incontestable. Une élévation de température de l'ordre de 3 à 6°C de la température moyenne de la troposphère dans les prochains siècles constitue une prévision que l'on accepte de manière générale et a un effet sur la nappe aquifère. Dans ce contexte, il peut être utile de rappeler que "la mesure quantitative et qualitative des éléments du cycle hydrologique et la mesure des autres caractéristiques de l'environnement qui influent sur l'eau constituent une base essentielle pour une gestion efficace de l'eau" [3].

L'Afrique figure au premier rang des régions concernées par la question de l'impact des fluctuations climatiques sur les ressources en eau [4]. Plusieurs études réalisées en Afrique de l'Ouest et Centrale ont mis en évidence une diminution de l'écoulement souterrain suite à la baisse de la pluviométrie [4]. L'analyse et la caractérisation précise des manifestations de la variabilité du climat, et sa relation avec la variabilité des ressources en eau constituent aujourd'hui une problématique de développement, en ce sens qu'elles doivent déboucher sur l'élaboration de scénarii permettant la prévision et la gestion durable des ressources en eau.

La République Démocratique du Congo dispose d'un réseau hydrographique parmi les plus denses au monde et sa pluviométrie est abondante. Toutefois, des variabilités pluviométriques imprévisibles et l'insuffisance des infrastructures de base entraînent de véritables pénuries, si bien qu'actuellement, seuls 10% des Congolais ont accès à une eau saine en milieu rural et 50% en zone urbaine [5].

Au Sud-Kivu en général et dans le sous bassin de Lwiro-Cirhanyobwa en particulier, une diminution sensible des débits des sources d'eau est signalée par les habitants depuis les années 2012. Cette information a suscité de nombreuses réactions dans ce milieu où 100 % des ménages s'approvisionnent en eau à la source la plus proche. Une étude évaluative des sources d'Irhambi menée en 2014 a constaté cette diminution de débit en soulignant que 25,1% des sources d'Irhambi-Katana étaient en voie de tarissement et que pour ce genre de sources, l'approvisionnement en eau à toute la population n'était plus assuré [12]. La grande question est de savoir si ce contexte déficitaire est pérenne ou s'il s'agit uniquement d'une carence passagère. Sans nier les effets de la déforestation due à la forte concentration humaine dans ce milieu, il est certain que cette diminution des débits des sources résulte d'une anomalie pluviométrique qui ne peut être identifiée que par une analyse effectuée sur une série des précipitations observées pendant une période de 30 à 50 ans. Et partant du fait que l'alimentation des sources provient de l'infiltration à la surface du sol d'une fraction de l'eau provenant des précipitations, il est évident que l'analyse des séries pluviométriques recueillies dans la station climatologique de notre secteur nous renseignerait davantage sur une éventuelle anomalie qui surgirait de ce secteur et qui serait à la base de ce tarissement. Sur ce, ce travail tachera de faire un bilan hydrique de la région en vue d'informer la population de Katana et les aménageurs des sources sur la question de diminution des débits d'eau dans les sources de ce secteur et de déterminer la bonne période pour le captage de ces sources.

La caractérisation de la variabilité pluviométrique à l'aide de méthodes statistiques et l'évaluation de son impact sur les ressources en eau souterraines constituent les objectifs majeurs de cette étude.

## 2 METHODOLOGIE

### 2.1 MILIEU D'ÉTUDE

Le micro-bassin de Lwiro est situé entre les rivières Lwiro et Cirhanyobwa dans le groupement d'Irhambi- Katana, à l'Est de la République Démocratique du Congo(RDC) à quelques 40 km de la ville de Bukavu, Chef-lieu de la Province du Sud-Kivu. Il est constituée de 6 villages à savoir Kadjuvu, Mabingu, Kabamba, Mwanda, Kabushwa et Kahungu. Il est situé entre 2° 23'19" et 2°15'55" latitude Sud et entre 28°8'30" et 28°39" longitude Est et est limité au Nord par la rivière Cirhanyobwa et au Sud par la rivière Lwiro, à l'Est par le lac Kivu et à l'Ouest par le Parc National de Kahuzi-Biega [6].

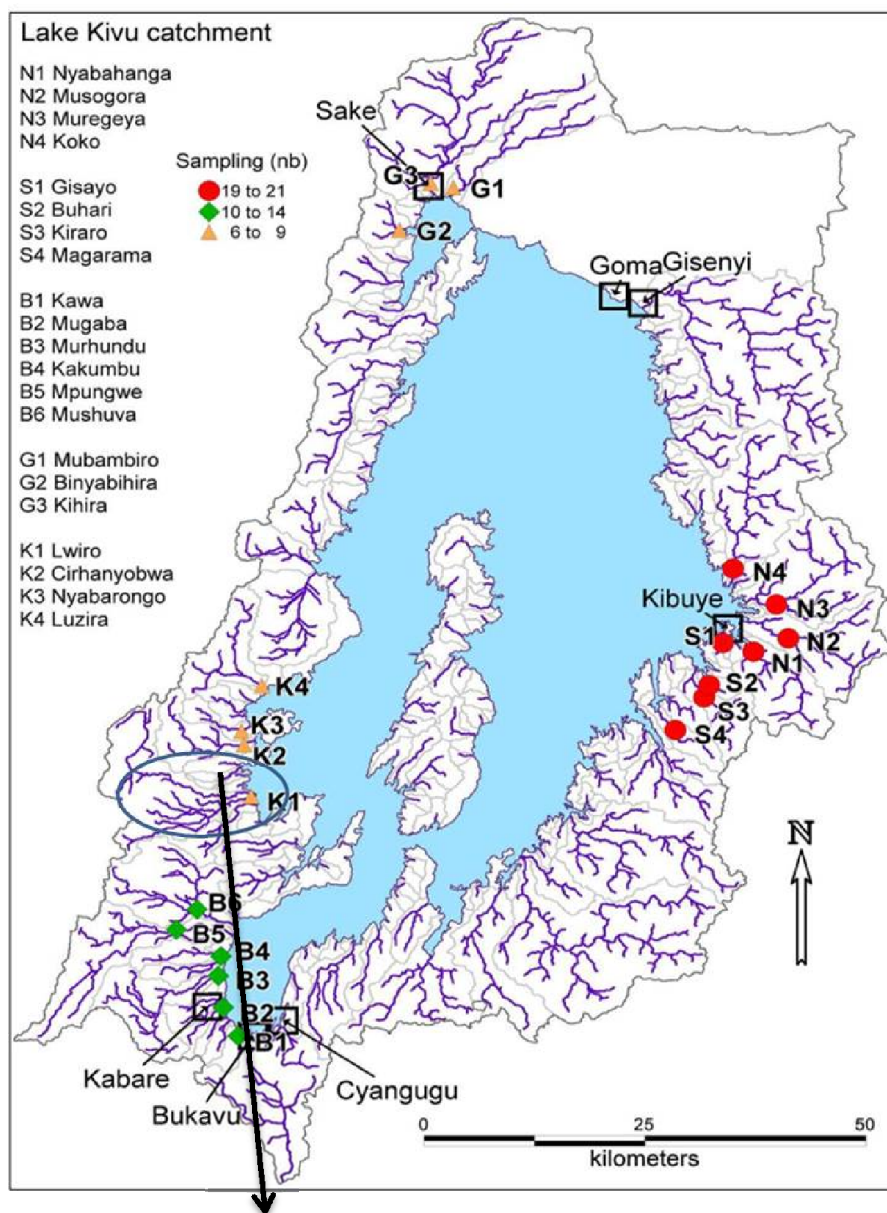


Fig 1. Zone d'étude, micro-bassin de Lwiro

D'une manière générale, le relief du groupement d'Irhambi-Katana fait partie des hautes terres du Kivu et se présente en marche d'escalier comprenant cinq paliers d'altitude augmentant progressivement de l'Est vers l'Ouest correspondant aux anciens fonds du Graben :

- Premier palier : 1470m d'altitude, correspondant à la paroisse de Mwanda ;
- Deuxième palier : 1580m d'altitude correspondant au centre commercial de Katana ;
- Troisième palier : 1800 m d'altitude, correspondant au Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro ;
- Quatrième palier: 2400m d'altitude, correspondant au gîte du CRSN/LWIRO à Tshibati.
- Cinquième palier: 3308m d'altitude, correspondant au sommet du Mont Kahuzi.

La région de Katana jouit d'un climat doux de type tropical humide. Les fortes températures qui devraient y régner sont modérées par l'altitude et la proximité du lac Kivu. Ainsi sa température moyenne annuelle oscille entre 18°C et 20°C. Un fait climatique important est celui de la décroissance thermique altitudinale. D'une façon générale, on observe une corrélation étroite entre l'altitude et la température [6]. Au niveau du lac (plus ou moins 1490m); la température moyenne annuelle est de 20°C. A 1800m d'altitude, elle passe à 17.5°C ; à 2200m à 15°C environ. La région connaît deux saisons : une courte saison sèche allant de Juin en Août et une longue saison de pluie allant de Septembre en Mai. On y enregistre une précipitation moyenne annuelle de plus de 1500 mm et une humidité relative proche de 76%. Pendant la saison pluvieuse, les eaux superficielles s'infiltrent dans le sol et le sous-sol jusqu'à ce qu'elles rencontrent une formation géologique imperméable. Elles remplissent alors les interstices ou les fissures de la roche perméable située au-dessus: On appelle aquifère une telle roche réservoir dans laquelle l'eau circule et forme une nappe.

Dans les régions montagneuses comme celles-ci, la répartition altitudinale des formations végétales est fonction des gradients thermiques des versants et des conditions édaphiques locales. Au cours du temps, mais surtout pendant les dernières siècles et plus encore au cours des dernières décennies, la végétation de la dorsale du Congo a été fortement dégradée par l'action anthropique, de sorte qu'il devient difficile de se représenter aujourd'hui ce qu'étaient la distribution et les aspects originels des milieux montagnards, une grande partie des forêts étant réduite à une mosaïque de groupement divers secondarisée ; exception faite à une partie de la dorsale qui a quelque peu échappé à la déforestation intense, une étroite zone de la crête classée comme réserve forestière pour être ensuite transformée en parc national de Kahuzi-Biega[7].

Selon [8], les travaux antérieurs réalisés dans ce secteur nous prouvent l'existence de trois grandes catégories de roches :

#### *Les formations précambriennes*

Ces formations affleurent sur la bordure occidentale du lac Kivu, au Sud du deuxième parallèle Sud. Elles affleurent dans des boutonnières en relief positif par rapport à la couverture basaltique.

#### *La couverture basaltique*

Le nombre exact des coulées dans cette région de Katana n'est pas jusque-là connu suite à une altération très poussée qui handicape une bonne cartographie. Les analyses structurales des différents vulcanologues distinguent les basaltes de Kange, de coulées de Mahyuza ; tandis que la coulée de FOMULAC serait rattachée aux cônes volcaniques de TSHIBINDA-TSHIBATI à l'Ouest de Lwiro.

#### *La couverture sédimentaire*

Cette unité est réduite aux formations carbonatées superficielles de Mahyuza-Kakondo, Mudogo, Ciranga, Fomulac et quelques petits affleurements peu significatifs à Lwiro et Mwanda. On signale toutefois des minuscules terrasses de ruisseaux actuels présentant quelques dépôts détritiques sans importance litho stratigraphiques. A l'échelle de notre travail, il existe une relation entre roches et eaux souterraines. Un réservoir aquifère est situé dans des roches capables de contenir de l'eau, mais aussi de la céder. C'est le cas des roches poreuses (sables, grès, certains calcaires), des roches fissurées (calcaires et basaltes).

#### *Les sols*

Dans notre secteur d'étude, la chaleur et l'humidité détermine un système morphogénique dominé par les altérations physico-chimiques et biochimiques. D'abord les actions météoriques combinent les effets de la dissolution, de l'hydratation et de l'hydrolyse des silicates. Cette dégradation continue, encore beaucoup intensifiée avec les produits agressifs fournis par la décomposition de l'humus, est une latéritisation(ou allitisation). Elle engendre des sols ferrallitiques typiques. Ainsi on distingue dans notre secteur les sols sur roches éruptives et les sols sur roches sédimentaires [8].

## 2.2 MATERIEL ET METHODE

L'estimation des apports pluviométriques dans le secteur a été faite par :

L'estimation du bilan hydrologique par la méthode de Thornthwaite [[9], [10]] a consisté à calculer les apports et les pertes d'eau dans le secteur à base des données climatiques disponibles à la station climatologique du département de géophysique au Centre de Recherche en Sciences Naturelles de Lwiro (CRSN/LWIRO).

Les principaux paramètres recherchés sont l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR) et l'excédent (Exc.) ou infiltration efficace. Ainsi, pour chaque mois, le calcul d'une évapotranspiration potentielle que réelle a été fait et est assimilée au pouvoir évaporant de l'atmosphère sur le bassin considéré:

## 2.3 TRAITEMENT DES DONNEES

### A. Evapotranspiration potentielle

$ETP = 16 \left[ \frac{(10T)^a}{i} \right]$  où ETP= Evapotranspiration potentielle, T= température du mois considéré en °C, i= indice thermique annuel qui est égal à la somme des indices mensuels (i) donné par la relation  $i = \sqrt{\frac{T^3}{125}}$  et  $a = 0.016 I + 0.5$  ([9], [10])

### B. Evapotranspiration réelle

Elle a consisté à calculer d'abord pour chaque mois de l'année de la période considérée l'ETP. Le calcul de l'ETR et de l'excédent (Exc.) est effectué de la manière suivante :

Si les précipitations du mois sont ;

- Supérieurs à l'ETP, ETP = ETR et l'excédent est atteint lorsque les réserves supérieures cumulées atteignent 100mm d'eau pour alimenter l'écoulement de surface et les nappes profondes ;
- Inférieures à l'ETP, alors l'ETR est la somme des précipitations du mois et / ou une partie de la réserve du sol selon que :
  - ⇒ La réserve antérieure de l'humidité du sol est assez forte pour combler l'insuffisance du sol pour que l'ETR soit égale à l'ETP ; ou
  - ⇒ Si la réserve de l'humidité du sol est insuffisante pour satisfaire l'ETR, cette dernière sera par conséquent la somme des précipitations du mois et de réserve disponible.

La différence entre l'ETP et l'ETR ainsi calculée constitue le déficit d'eau, appelée parfois déficit agricole car il présente la quantité d'eau supplémentaire utilisée par les plantes si les disponibilités en eau pouvaient être artificiellement complétées par un système d'irrigation. Le déficit hydrique mensuel (D) en un point donné quant à lui, sera défini comme la différence entre l'évapotranspiration potentielle climatique (ETP) et la pluviométrie (P) du mois considéré,  $D = P - ETP$

- Analyse de la variation des infiltrations efficaces pendant une période de 15 ans, soit dès 1999 à 2014 ([9], [10])

Les infiltrations efficaces ont été relevées à partir de la différence entre précipitation mensuelle et l'évapotranspiration potentielle.

- Module et indice pluviométrique pendant une période de 50 ans, dès 1963 à 2013 [11].
  - ✓ Le module pluviométrique annuel a été déterminé en faisant la moyenne de hauteur des précipitations annuelles des années antérieures et cela selon les intervalles définis ([11], [12]) ;
  - ✓ L'indice pluviométrique est le rapport de la précipitation annuelle par le module pluviométrique annuel respectivement selon les différents intervalles ([11], [12]).

$$I = (P_i - P_{moy})$$

Avec  $P_i$  : la pluviométrie de l'année i,  $P_{moy}$  : la pluviométrie moyenne sur la période 1963–2014 et  $\sigma$  : l'écart-type sur cette même période).

- Fréquence des hauteurs des précipitations ([13], [14])

Par ordre croissant, les différentes moyennes annuelles de précipitations ont été rangées dans un tableau pour en déduire leurs fréquences respectives et la formule suivante a été utilisée :

$$f = \frac{i - 0,5}{n}$$

Où  $i$  étant le numéro d'ordre de l'année dans le classement et  $n$  le nombre d'année d'observation ou la taille de l'échantillon.

- Dispersion des observations autour de la valeur centrale et calcul prévisionnel [13].

Comme le nom l'indique, les indicateurs de dispersions permettent de mesurer comment les données se répartissent. Dans ce point, déterminons l'intervalle de variation ou étendue de la série statistique, l'écart type et le coefficient de variation.

- Pour déterminer l'intervalle de variation, nous avons fait la différence entre la valeur la plus forte observée et la valeur la plus faible de la série.
- Le calcul de l'écart absolu moyen a été obtenu en faisant la moyenne arithmétique des valeurs absolues des écarts par rapport à la moyenne.  $\vartheta a = \frac{1}{n} \sum |X_i - \bar{X}|$ ;
- L'écart type a été donné par la formule :  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$

Comme, la dispersion des observations peut être traduite aussi synthétiquement par le coefficient de variation (V), qui est le rapport de l'écart type à la moyenne, donné par la relation :  $V = \frac{\sigma}{\bar{x}}$

Si l'écart entre les fréquences observées et la loi de Gauss est assez faible pour être négligeable dans maints problèmes pratiques, on pourra avec avantage substituer celle-ci à la lourde suite d'observations expérimentales.

Il est commode, en pratique, d'utiliser au lieu et place de l'écart à la moyenne :

$$X_i - \bar{X} \text{ « l'écart réduit » } t \text{ qui est le rapport de celui-ci à l'écart type : } t = \frac{x_i - \bar{X}}{\sigma}$$

### 3 RESULTATS

Tableau 1. Relevé des pluies mensuelles de la période allant de 1999-2013 à la station du CRSN/Lwiro

Années	Mois												Total
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
	Précipitations moyennes mensuelles(Pmm)												
1999	147,8	33,9	249,9	168,6	65,5	7,8	0,7	134,4	89,1	89,7	271,4	158,9	1417,7
2000	218,1	104,1	119,1	57,1	88,4	12,1	2,2	25,1	110,5	202,2	215	304,8	1458,7
2001	174,1	147,3	266	215,6	227,6	21,4	2,2	25,1	110,5	202,2	215	304,8	1911,8
2002	219,9	96,3	218,4	238	114,7	5	0,5	14	103,7	227	179,1	86,9	1503,5
2003	212,5	48,6	123,8	251,8	179,4	46,9	46,3	46	188,4	219,6	192	103,8	1659,1
2004	220,3	137,5	148,7	163,7	33,7	2,9	18,7	56,9	93	157,4	219,6	215,7	1468,1
2005	166,1	154,7	177,6	127,1	288,1	42,8	0	108,6	163,4	141,9	215,3	157,2	1742,8
2006	137,2	162	166,5	145,2	229,7	52,2	52,2	67,7	194,4	95,7	217,2	203,3	1723,3
2007	128,8	122,6	96,6	218,7	157,2	36,6	43,2	62,7	134	183	144,5	173,8	1501,7
2008	151,7	109,3	213,5	62,2	83,5	94	37	81,7	113,3	100,8	89,8	175,8	1312,6
2009	148,3	120	213,2	119,2	80,7	13,8	12	15,3	230	177	261,4	163,3	1554,2
2010	136,9	167,0	167,0	145,3	110,3	56,8	2,8	16,5	185,3	157,4	138,5	132,2	1419
2011	173,0	143,6	143,6	144,4	46,7	104,6	54,2	128,5	152,4	258,3	144,6	233,1	1727
2012	73,0	80,5	216,7	228,5	92,8	15,6	8,2	96,0	178,2	250,0	125,8	228,8	1594,1
2013	130,2	88,1	223,8	136,4	127,4	2,5	0,4	65,8	185,8	109,5	160,1	233,1	1463,1
1999	147,8	33,9	249,9	168,6	65,5	7,8	0,7	134,4	89,1	89,7	271,4	158,9	1417,7

Moyenne obtenue après calcul: 1558,74.

Le tableau 1 montre que les précipitations mensuelles maximales sont autour de 200 mm d'eau tandis que les précipitations mensuelles minimales sont autour de 20mm d'eau. Selon ce tableau, la période des averses commence en Octobre et s'arrête dans la première quinzaine du mois de février pour reprendre encore en mars et prendre fin en mai. Quant à la période des basses eaux, elle commence en juin et se termine vers la fin du mois d'Août.

Tableau 2. Relevé des moyennes des températures au cours de seize dernières années 1999-2014 à la Station de Lwiro

Années	Mois											
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
	Degré Celcius(°C)											
1999	20,2	20,8	20	20,1	20	19,5	19,3	19,5	19,9	19,7	20	19,9
2000	19,9	19,7	19,3	20,1	20,2	19,5	19,7	20,7	21,4	20,3	19,9	20,4
2001	19,7	20,2	20,3	20	20	19,3	19,4	20,3	20,3	20,4	20,6	20,9
2002	20,6	21,3	20,5	20,2	20	20,1	20,5	21,3	20,1	20,6	20,3	20,2
2003	21	21	21	20,8	20,2	19,6	19,2	20,7	20,6	20,9	20,4	20,6
2004	20,5	20,5	20,9	20,3	20,4	19,4	19,9	20,9	21,2	21,1	20,2	20,7
2005	20,6	21,5	20,6	21	20,5	19,8	19,5	20,6	21	20,5	20,7	20,6
2006	20,1	20,7	20,3	20,4	20,6	19,4	19,7	20,5	20,7	21,3	20	20
2007	20,8	21	21,1	21,1	20,7	19,9	19,7	20,3	20,8	20,3	19,7	19,8
2008	19,8	19,6	19,2	19,8	20	18,8	18,8	19,7	20,2	19,3	20,2	20,3
2009	19,8	19,5	20,1	19,8	20,1	19,6	19,4	20,6	20,8	20,5	20,2	20
2010	20,6	20,9	20,5	21,0	20,5	19,6	19,1	20,5	20,1	20,2	19,8	20,2
2011	20,5	20,9	20,8	20,7	20,6	19,6	19,7	20,6	21,0	20,9	20,2	20,3
2012	20,2	20,3	20,2	20,4	20,4	19,5	19,3	20,3	20,5	20,3	20,0	20,0
2013	20,4	20,5	19,9	20,2	19,6	18,9	19,8	20,1	20,1	19,8	19,7	20,0
2014	20,3	19,9	19,8	20,1	20,4	19,7	19,6	20,0	20,0	20,2	19,9	20,3

De ce tableau des températures moyennes mensuelles, le constant est que les températures mensuelles du bassin oscillent toujours autour de 20°C. La température maximale est de 21,4°C tandis que la température minimale est de 19,3°C, soit une amplitude annuelle de 2,1°C et par conséquent très faible amplitude thermique



Tableau 3 Indices thermiques mensuels et annuels au cours de la période de 1999-2014

Années	Mois												I	A
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre		
1999	8,12	8,48	8	8,06	8	7,7	7,58	7,7	7,94	7,82	8	7,94	95,34	2,025
2000	7,94	7,82	7,58	8,06	8,12	7,7	7,82	8,42	8,85	8,18	7,94	8,24	96,67	2,047
2001	7,82	8,12	8,18	8,18	8	7,58	7,64	8,18	8,48	8,24	8,36	8,54	97,02	2,052
2002	8,36	8,79	8,3	8,12	8,18	8,06	8,3	8,79	8,67	8,36	8,18	8,12	100,2	2,104
2003	8,61	8,61	8,61	8,48	8,12	7,76	7,52	8,42	8,36	8,55	8,24	8,36	99,64	2,094
2004	8,3	8,3	8,55	8,18	8,24	7,64	7,94	8,55	8,73	8,67	8,12	8,42	99,64	2,094
2005	8,36	8,92	8,36	8,61	8,3	7,88	7,7	8,36	8,61	8,3	8,42	8,36	100,2	2,102
2006	8,06	8,42	8,13	8,24	8,36	7,64	7,82	8,3	8,42	8,79	8	8	98,23	2,072
2007	8,48	8,61	8,67	8,67	8,42	7,94	7,82	8,18	8,48	8,18	7,82	7,88	99,15	2,086
2008	7,88	7,76	7,52	7,88	8	7,29	7,29	7,82	8,12	7,59	8,12	8,18	93,44	1,995
2009	7,88	7,7	8,06	7,88	8,6	7,76	7,64	8,36	8,48	0,3	8,12	8	96,24	2,04
2010	8,36	8,54	8,30	8,60	8,30	7,76	7,46	8,30	8,06	8,12	7,88	8,12	97,84	2,06
2011	8,30	8,54	8,48	8,42	8,36	7,76	7,82	8,36	8,60	8,54	8,12	8,18	99,48	2,09
2012	8,12	8,18	8,12	8,24	8,24	7,70	7,58	8,18	8,30	8,18	8,0	8,0	96,84	2,04
2013	8,24	8,30	7,9	8,12	7,76	7,34	7,88	8,06	8,06	7,88	7,32	8,0	95,36	2,025
2014	8,18	7,94	7,88	8,06	8,24	7,82	7,76	8,0	8,0	8,12	7,94	8,18	96,12	2,037

Indice thermique annuel (I) est de 97,79 et le coefficient fonction de I de 2,06 ; ainsi évaluons mensuellement et annuellement les apports et pertes d'eau du secteur au cours de 16 dernières années, c'est-à-dire du 1999 à 2014.

Tableau 4. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 1999

MOIS	PLUIE (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT mm	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	147,8	73,1	74,7	100	0	74,7	73,18
Février	33,9	77,68	-43,78	56,22	0	0	68,71
Mars	249,9	71,74	178,46	100	0	134,38	71,74
Avril	168,8	72,44	96,36	100	0	96,36	72,44
Mai	65,5	71,74	-6,24	93,76	0	0	71,74
Juin	7,8	68,12	-60,3	33,44	0	0	68,12
Juillet	0,7	66,71	33,44	0	32,57	0	34,14
Août	134,4	68,12	66,28	66,28	0	0	68,12
Septembre	89,7	69,54	15,6	100	0	4,56	69,54
Octobre	271,4	71,74	199,66	100	0	199,66	71,74
Novembre	158,9	71,74	87,12	100	0	199,66	87,12
Décembre	158,9	70,98	87,92	100	0	87,92	70,98
Annuel	1417,9	69,7			32,57		67,58

ETP : évapotranspiration potentielle

P : précipitations mensuelles

Le : infiltration efficace

Sur base de ce tableau, nous pouvons classer cette année parmi les années sèches, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne au cours de la période d'observation, ainsi que l'épuisement

total de la réserve facilement utilisable au mois de Juillet qui a occasionné un déficit de 32.57 d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste loin par rapport au couple (R+I).

**Tableau 5. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2000**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT(mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	218,6	70,14	148,46	100	0	148,46	70,14
Février	104,1	68,71	35,39	100	0	35,39	68,71
Mars	119,1	65,85	53,25	100	0	54,25	65,85
Avril	57,1	71,88	-14,48	85,22	0		71,58
Mai	88,4	72,33	16,07	100	0	1,59	72,33
Juin	12,1	67,27	-55,17	44,83	0	0	67,27
Juillet	2,2	68,71	-66,51	0	21,68	0	47,03
Août	25,1	76,01	-50,91	0	50,91	0	25,1
Septembre	110,5	81,41	29,09	29,09	0	0	81,41
Octobre	202,2	73,06	70,91	100	0	58,23	73,06
Novembre	215	70,17	144,83	100	0	144,83	70,17
Décembre	304,8	73,78	231,02	100	0	231,02	73,78
Annuel	1459.2	71.58					65,53

Selon le tableau 5, classons l'année parmi les années sèches, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne au cours de la période d'observation, ainsi que l'épuisement total de la réserve facilement utilisable au mois de Juillet et Août qui a occasionné un déficit de 72.59mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste de loin élevée par rapport au couple (R+I)

**Tableau 6. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2001**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP(mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT (mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	174.1	68.44	105,66	100	0	105.66	68.44
Février	147.3	72.05	75.25	100	0	75.25	72.05
Mars	266.0	72.76	193.24	100	0	193.24	72.76
Avril	215.6	72.76	142.84	100	0	142.84	72.76
Mai	227.6	70.57	157.03	100	0	157.03	70.57
Juin	21.4	65.60	-44.2	55.8	0	0	65.6
Juillet	56.3	66.32	-10.02	45.78	0	0	66.32
Août	40.8	72.76	31.96	13,82	0	0	72.76
Septembre	304.7	72.76	86.18	100	0	145.76	72.76
Octobre	203.2	73.53	129.67	100	0	129.67	73.53
Novembre	180.4	74.99	105.41	100	0	105.41	74.99
Décembre	344.6	77.25	267.35	100	0	267.35	77.25
Annuel	2182.0	69.70			0		72,19

Le tableau 6 permet de classer l'année parmi les années humides, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne au cours de la période d'observation, ainsi que la conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de toute l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+I) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle dans le bassin.

**Tableau 7. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2002**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP(mm)	P-ETP(mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	Le(mm)	ETR (mm)
Janvier	219,9	72,82	147.0	100	0	147.0	72,82
Février	96,3	78,14	18.16	100	0	18.16	78,14
Mars	218,4	72,08	146.3	100	0	146.3	72,08
Avril	238	69,87	168.1	100	0	168.1	69,87
Mai	114,7	70,61	44.09	100	0	44.09	70,61
Juin	5	69,15	- 64.15	35.85	0	0	69,15
Juillet	0,5	72,08	-71,5	0	35.73	0	36,35
Août	14	78,14	-64.14	0	64.14	0	140
Septembre	103,7	72,6	31,1	31,1	0	0	76,6
Octobre	227	72,82	72.9	100	0	81.28	72,82
Novembre	179,1	70,61	108.4	100	0	108.4	70,61
Décembre	86,9	69,87	17,03	100	0	17,03	69,87
Annuel	1503,5	72,82					

D'après ce tableau 7, l'année est classée parmi les années sèches, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne au cours de la période d'observation, ainsi que l'épuisement total de la réserve facilement utilisable au mois de Juillet et Août qui a occasionné un déficit de 99 ; 87mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste de loin élevée par rapport au couple (R+I).

**Tableau 8. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2003**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP(mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	Le(mm)	ETR(mm)
Janvier	212,5	76,26	136.,24	100	0	136.24	76,26
Février	48,6	76,26	- 27.66	72.34	0	0	76,26
Mars	123,8	76,26	27.66	100	0	19.88	76,26
Avril	251,8	74,72	177.08	100	0	177.08	74,72
Mai	179,4	70,25	109.15	100	0	109.15	70,25
Juin	46,9	65,97	19.07	80.93	0	0	65,97
Juillet	46,3	63,19	16.89	64.04	0	0	63,19
Août	46	73,93	27.93	36.11	0	0	73,93
Septembre	188,4	73,19	63.89	100	0	51.32	73,19
Octobre	219,6	75,48	144.12	100	0	144.12	73,19
Novembre	192	71,71	120.29	100	0	120.29	71,71
Décembre	103,8	73,19	30.61	100	0	30.61	73,19
Annuel	1659,1	72.45			0		

Selon ce tableau 8, l'année est aussi classée parmi les années humides, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation soit supérieure à la valeur moyenne de précipitation au cours de la période d'observation, ainsi que la conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de toute l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+I) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle dans le bassin.

**Tableau 9. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2004**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	Le(mm)	ETR(mm)
Janvier	220.3	72,45	147.85	100	0	147.85	72.45
Février	137.5	72,45	65.05	100	0	65.05	72.45
Mars	148.7	75,48	73.22	100	0	73.22	75.48
Avril	163.7	70,98	92.72	100	0	92.72	70.98
Mai	33.7	71,71	-38.01	61.99	0	0	71.71
Juin	2.9	64,57	-61,67	0.32	0	0	64.57
Juillet	18.7	68,09	-49,39	0	49.07	0	19.02
Août	56.9	75,48		0	18.58	0	56.9
Septembre	93.0	77.78	15.22	15.22	0	0	77.78
Octobre	157.4	77.78	79.62	94.84	0	0	77.78
Novembre	210.6	70.25	5.16	100	0	135.19	70.25
Décembre	215.7	73.93	141.72	100	0	141.72	73.93
Annuel	1459.1	72.45					

De ce tableau 9, il ressort que l'année est classée parmi les années sèches, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne des précipitations au cours de la période d'observation, ainsi que l'épuisement total de la réserve facilement utilisable au mois de Juillet et d'Août qui a occasionné un déficit de 67.65mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste loin élevée par rapport au couple (R+I).

**Tableau 10. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2005**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP(mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	Le(mm)	ETR (mm)
Janvier	166.1	72.72		100	0	93.31	72.79
Février	154.7	79.65		100	0	75.05	79.65
Mars	177.6	72.79		100	0	104.81	72.78
Avril	127.1	75.80		100	0	51.3	75.80
Mai	288.1	72.05		100	0	216.05	72.05
Juin	42.8	66.97	24.17	75.83	0	0	66.97
Juillet	0.00	64.85	24.85	10.98	0	0	64.85
Août	108.6	72.79	35.81	46.79	0	0	72.79
Septembre	163.4	75.80	53.21	100	0	34.39	75.80
Octobre	141.9	72.05		100	0	69.85	72.05
Novembre	215.3	73.54		100	0	141.76	73.54
Décembre	157.2	72.79		100	0	84.41	72.79
Annuel	1742.8	72.79			0		

Selon ce tableau 10, classons l'année parmi les années humides, étant donné que la valeur annuelle est supérieure à la valeur moyenne de précipitations au cours de cette période d'observation, ainsi que la période de conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de toute l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+I) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle.

**Tableau 11. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2006**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP(mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	Le(mm)	ETR (mm)
Janvier	137.2	70.52		100	0	66.68	70.52
Février	162	74.95		100	0	87.05	74.95
Mars	166.5	72.03		100	0	94.47	72.03
Avril	145.2	72.75		100	0	72.45	72.75
Mai	229.7	74.21		100	0	155.49	74.21
Juin	52.2	65.54	13.34	86.68	0	0	65.54
Juillet	52.2	67.62	15.42	71.24	0	0	67.62
Août	67.7	73.48	5.78	65.48	0	0	73.48
Septembre	194.4	74.95	34.56	100	0	84.89	74.95
Octobre	95.6	79.51		100	0	16.09	29.51
Novembre	217.2	69.81		100	0	147.39	69.81
Décembre	203.3	69.81		100	0	133.49	69.81
Annuel	1723.2	72.03					

D'après le tableau 11, nous pouvons classer l'année parmi les années humides car la valeur annuelle de la précipitation est supérieure à la valeur des précipitations au cours de la période d'observation, ainsi que la conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle dans le bassin.

**Tableau 12. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2007**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT(mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	128.8	75,06	53.74	100	0	53.74	75.06
Février	122.6	75.06	47,54	100	0	47.04	75.56
Mars	96.6	77.32	19.28	100	0	19.28	96.6
Avril	218.7	77.32	141.38	100	0	141.38	77.32
Mai	157.2	74.32	82.88	100	0	82.88	74.32
Juin	36.5	68.43	31.93	68.07	0	0	63.43
Juillet	43.2	67.01	23.81	44.26	0	0	67.01
Août	62.7	71.30	8.6	94.76	0	0	71.3
Septembre	134.0	75.06	58.94	100	0	0	75.06
Octobre	183.0	71.30	5.4	100	0	106.3	71.30
Novembre	144.6	67.01	77.59	100	0	77.59	67.01
Décembre	173.8	67.72	106.08	100	0	106.08	67.72
Annuel	1501.6	70.14			0		

Le tableau 12 permet de classer l'année parmi les années humides, étant donné que la valeur annuelle est inférieure à la valeur moyenne des précipitations durant la période d'observation, ainsi que la conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de toute l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle dans le bassin.

**Tableau 13. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2008**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP(mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	128.8	71.57	57.23	100	0	57.23	71.57
Février	122.6	70.14	52.46	100	0	52,46	70.14
Mars	96.6	67.33	29.27	100	0	29.27	67.33
Avril	218.7	71.57	147.13	100	0	147.13	71.57
Mai	157,2	72.99	84.21	100	0	84.21	72.99
Juin	36.5	64.54	-28.04	71,96	0	0	64.54
Juillet	43.2	64.54	-21.34	50,62	0	0	64.54
Août	62.7	70.83	-8.13	42.49	0	0	70.83
Septembre	134.0	74,59	57.51	100	0	1.99	74.5
Octobre	183.9	67.98	115,92	100	0	115.02	67.98
Novembre	144.5	74.50	70	100	0	79	74.70
Décembre	173.8	75.26	98.54	100	0	98.54	75.26
Annuel	1501.6	70.14			0		

Selon le tableau 13, classons l'année parmi les années humides, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est supérieure à la valeur moyenne des précipitations au cours de cette période d'observation, ainsi que la conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de toute l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+I) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle dans le bassin.

**Tableau 14. : Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2009**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT(mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	148.3	69.67	78.63	100	0	78.63	69.67
Février	129.0	67.55	52.45	100	0	52.45	67.55
Mars	213.2	71.87	141.33	100	0	141.33	71.87
Avril	119.2	69.67	49.53	100	0	49.53	69.67
Mai	80.7	71.87	8.83	100	0	8.83	71.87
Juin	13.8	68.30	-54,5	45.5	0	0	68.30
Juillet	12.0	66.47	-54,47	0	8,97	0	57.5
Août	15.3	75.53	-63,23	0	63,23	0	15.3
Septembre	230.0	76.97	153.0	100	0	53.03	76.97
Octobre	177.0	74.81	102,1	100	0	102.1	74.81
Novembre	261.4	72.60	188,8	100	0	188.8	72.60
Décembre	163.3	71.13	92,17	100	0	92.17	71.13
Annuel	1554.2	71.13					

D'après ce tableau nous pouvons classer cette année parmi les années sèches étant donné que la valeur annuelle de la précipitation soit inférieure à la valeur moyenne des précipitations au cours de cette période d'observation, ainsi que l'épuisement totale de la réserve facilement utilisable au mois de juillet et Août qui a occasionné un déficit de 69.6mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste loin élevée par rapport au couple (R+I).

**Tableau 15. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2010**

MOIS	PLUIE(mm)	ETP (mm)	P-ETP(mm)	RFU(mm)	DEFICIT(mm)	le(mm)	ETR (mm)
Janvier	136.9	74.16	62,74	100	0	61,84	74,16
Février	172.3	76.41	95,89	100	0	95.89	76,41
Mars	167.0	73.42	93,58	100	0	93.58	73,42
Avril	145.3	77.16	68,14	100	0	68.14	77,16
Mai	110.3	73.42	36,88	100	0	36.88	73,42
Juin	56.8	66.94	-10.14	89.96	0	0	66,94
Juillet	2.8	63.47	-60.67	29.29	0	0	63,47
Août	16.5	73.42	-56.92	0	27.63	0	73,42
Septembre	185.3	70.50	114,8	87.17	0	65.3	70,5
Octobre	157.4	51.23	12.6	100	0	86.17	71,23
Novembre	138.5	68.35	70,15	100	0	70.15	68,35
Décembre	132.2	71.23	60,97	100	0	60.97	71,23
Annuel	1421.3	71.64					71,64

Le tableau 15 montre que l'année est classée parmi les années sèches, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne des précipitations durant la période d'observation, ainsi que l'épuisement totale de la réserve facilement utilisable au mois de juillet et Août qui a occasionné un déficit de 27,63mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste loin élevée par rapport au couple (R+I).

**Tableau 16. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2011**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT(mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	173.0	72.51	100,4	100	0	100.49	72,51
Février	156.3	75.50	80,8	100	0	80.8	75,5
Mars	143.6	74.74	68,86	100	0	68.86	68,86
Avril	144.4	73.99	70.41	100	0	70.41	73,99
Mai	46.7	73.25	-26.55	73,45	0	0	73,25
Juin	104.6	66.01	26.55	100	0	38.49	66,01
Juillet	54.12	66.72	12.52	87.4	0	0	66,72
Août	128.5	73.25	55,25	100	0	55.25	73,25
Septembre	152.4	76.25	76,15	100	0	76.15	76,25
Octobre	258.3	75.50	182,8	100	0	182.8	75,5
Novembre	144.6	70.31	74,29	100	0	74.29	70,31
Décembre	233.1	71.04	162	100	0	0	71,04
Annuel	1739.7	72,45			0		71,93

Il ressort de ce tableau que l'année est classée parmi les années humides, étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est supérieure à la valeur des précipitations au cours de la période d'observation, ainsi que la conservation d'une certaine quantité d'eau dans la réserve facilement utilisable au cours de l'année en gardant par conséquent toujours le couple (R+I) de loin élevée par rapport à l'évapotranspiration réelle dans le bassin.

**Tableau 17. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2012**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP (mm)	P-ETP (mm)	RFU (mm)	DEFICIT (mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	73	71.69	1,31	100	0	1,31	72,51
Février	80,5	72.42	8,08	100	0	8,08	75,5
Mars	216.7	71.69	145,01	100	0	45.01	71,69
Avril	128.5	73.14	55,36	100	0	155.36	73,99
Mai	92.8	73.14	19,66	100	0	19,66	73,25
Juin	15.6	66.71	-51,11	48.89	0	0	66,01
Juillet	8,2	65.32	-57,12	0	8,23	0	66,72
Août	96.0	72.42	12 .52	7,95	0	23.58	73,25
Septembre	178.2	73.88	104,32	96.37	0	104.32	76.25
Octobre	250.0	72.42	177,58	100	0	177.58	75.50
Novembre	125.8	70.25	55,55	100	0	55.55	70.31
Décembre	228.8	70.25	158,55	100	0	158,58	71.04
Annuel	1594.1	71,11					

De tableau, classons l'année parmi les années sèches étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne des précipitations au cours de la période d'observation, ainsi que l'épuisement totale de la réserve facilement utilisable au mois de juillet et Août qui a occasionné un déficit de 69.6mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste loin élevée par rapport au couple (R+I).

**Tableau 18. Apports et pertes d'eau dans le sous bassin en 2014**

MOIS	PLUIE (mm)	ETP (mm)	PETP(mm)	RFU (mm)	DEFICIT (mm)	Le (mm)	ETR (mm)
Janvier	130,2	74,34	55,86	100	0	55,86	74,34
Février	88,1	75,08	13,02	100	0	13,02	75,08
Mars	223,8	70,71	153,09	100	0	153,09	70,71
Avril	136,4	72,88	63,52	100	0	63,52	72,88
Mai	127,4	68,57	58,83	100	0	58,83	68,57
Juin	2,5	63,22	-60,5	40	0	0	63,22
Juillet	0,4	66,72	-66,32	0	26,99	0	69,99
Août	65,8	69,99	-4,19	0	4,19	0	72,15
Septembre	185,8	72,15	113,63	51,96	0	113,65	72,15
Octobre	109,5	69,99	39,51	100	0	39,51	69,99
Novembre	160,1	69,28	90,82	100	0	90,82	69,28
Décembre	233,1	71,43	161,67	100	0	161,67	71,43
Annuel	1463,1	70,81					

Il ressort de ce tableau que l'année est classée parmi les années sèches étant donné que la valeur annuelle de la précipitation est inférieure à la valeur moyenne des précipitations durant la période d'observation, ainsi que l'épuisement totale de la réserve facilement utilisable au mois de juillet et Août qui a occasionné un déficit de 26,99mm d'eau lorsque l'évapotranspiration réelle dans le bassin reste loin élevée par rapport au couple (R+I).



Tableau 19. Synthèse des moyennes des évapotranspirations potentielles (en mm) pendant 16 dernières années.

ANNEES	Mois												Moyenne
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
	ETP												
1999	73,18	77,88	71,74	72,44	71,74	68,12	66,71	68,12	70,96	69,54	71,74	70,98	71,096
2000	70,14	68,71	68,71	65,85	71,58	67,27	68,76	76,06	81,41	73,06	70,17	73,78	71,292
2001	68,44	72,05	72,05	72,76	72,76	65,05	68,71	76,01	81,41	73,53	74,99	77,25	72,918
2002	72,82	78,14	78,14	72,08	69,87	69,15	72,08	78,14	76,5	72,82	70,61	69,87	73,352
2003	76,26	76,27	76,26	76,26	74,72	65,95	63,19	73,93	73,19	75,48	77,77	73,19	73,539
2004	72,79	79,65	72,79	79,65	72,69	64,57	68,49	75,48	77,78	77,78	70,25	73,93	73,821
2005	72,79	79,65	72,79	75,8	72,05	66,97	64,85	72,79	75,8	72,05	73,74	72,79	72,673
2006	70,56	74,95	72,03	72,75	74,21	65,54	67,62	73,48	74,95	79,51	69,81	62,81	71,518
2007	71,57	70,14	77,32	77,32	74,32	68,43	67,01	71,3	75,06	71,3	67,01	67,72	71,542
2008	69,67	67,55	67,33	71,57	72,99	64,54	73,42	70,5	74,5	67,98	74,5	75,26	70,818
2009	69,67	67,55	71,87	71,87	69,67	63,03	66,87	75,53	76,97	74,81	72,6	71,13	70,964
2010	74,16	76,41	76,41	73,42	77,16	66,94	63,47	73,42	70,5	71,23	68,35	71,23	71,892
2011	72,51	75,5	74,74	73,99	73,99	66,01	66,72	73,25	76,25	75,5	70,31	71,04	72,484
2012	71,69	72,42	71,69	73,14	73,14	66,71	65,42	72,42	73,88	72,42	70,25	70,25	71,119
2013	74,34	75,08	70,71	72,88	68,57	63,22	69,99	72,15	72,15	69,99	69,28	71,43	70,816
2014	72,98	70,09	69,38	71,53	73,71	68,67	67,96	70,08	70,08	72,25	70,09	72,98	70,817
TOT	1154	1182	1164	1173	1163	1060	1081	1173	1201	1169	1141	1146	1151
MNNE	72,098	73,878	72,748	73,332	72,698	66,261	67,579	73,291	75,087	73,078	71,342	71,603	71,916

Le tableau 19 renseigne sur l'état évaporatoire de la surface du sous bassin en précisant la variation de l'évapotranspiration dans le bassin d'étude où elle est toujours de 60 mm d'eau au mois de Juin et Juillet ; autours de 70 mm d'eau le reste des mois de l'année. Comme les pluies, l'évapotranspiration se mesure toujours sur une période déterminier : jours, mois, une année, une saison...Pour qu'une source fonctionne régulièrement, il faut que l'évapotranspiration soit compensée à chaque saison par des entrées d'eau au moins équivalentes dans le sol [15]

#### 4 VARIATION DES INFILTRATIONS EFFICACES (IE) PENDANT UNE PERIODE DE 15 ANS (1999-2013)

Tableau 20. Variation des infiltrations efficaces (en mm) pendant une période de 15 ans comprise entre 1999-2013

ANNEES	Mois												Moyenne
	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	
1999	74,62	0	134,4	96,36	0	0	0	0	0	4,56	199,7	87,92	49,79
2000	148,5	35,39	53,25	0	1,59	0	0	0	0	58,23	144,4	231	56,03
2001	105,7	75,25	193,2	142,8	157	0	0	0	145,8	129,7	105,4	267,4	110,2
2002	147,1	18,16	146,4	168,1	44,09	0	0	0	0	81,28	108,5	17,03	59,03
2003	136,2	0	19,88	177,1	109,2	0	0	0	51,32	144,1	120,3	30,61	65,72
2004	147,2	65,05	73,22	92,72	0	0	0	0	0	0	135,2	141,2	54,55
2005	93,31	75,05	104,3	51,3	216,1	0	0	0	34,39	69,85	141,8	84,41	72,54
2006	66,68	87,05	94,47	72,45	155,5	0	0	0	84,39	16,09	147,4	133,5	71,46
2007	53,54	47,04	19,28	141,4	82,88	0	0	0	0	196,3	77,49	106,9	60,4
2008	57,23	52,46	29,27	147,1	84,21	0	0	0	1,99	115	70	98,54	54,65
2009	78,63	52,45	141,3	49,53	8,83	0	0	0	53,03	102,2	188,9	92,17	63,92
2010	61,84	95,89	93,58	68,14	36,88	0	0	0	65,3	86,17	70,15	60,97	53,24
2011	100,5	80,8	68,86	70,41	0	38,59	0	55,25	76,15	182,8	74,29	162,1	75,81
2012	1,31	8,08	45,01	155,4	19,66	0	0	23,58	104,3	177,6	55,55	158,6	62,42
2013	55,86	13,02	153,1	63,52	58,83	0	0	0	113,7	39,51	90,82	161,7	62,5
2014	192,7	62,11	26,72	7,47	0	0	0	0	71,9	0	89,41	133,5	48,65
MOYENNE	91,65	49,07	84,61	88,26	60,92	2,412	0	4,927	50,14	89,59	113,7	123	63,81

Le tableau 20 montre l'infiltration efficace et la période favorable au captage des sources d'eau. La période où l'alimentation de la nappe par les apports extérieurs est faible ou nulle : Mai, Juin, Juillet, Août et Septembre.

⇒ Période de Basses eaux où étiage. Infiltration efficace 0

La période où l'alimentation de la nappe est forte : Octobre, Novembre, Décembre, Janvier, Février, Mars et Avril.

⇒ Période des hautes eaux où de crue.

#### 5 MODULE ET INDICE PLUVIOMETRIQUE PENDANT UNE PERIODE DE CINQUANTE ANS COMPRISE ENTRE 1963-2013

En première approximation, nous avons représenté les précipitations recueillies à la Station du Centre de Recherche en Sciences Naturelles, CRSN/LWIRO par la hauteur des précipitations annuelles moyennes ou module pluviométrique moyen au cours d'une série d'années. Statistiquement, cela revient à choisir la moyenne arithmétique comme valeur centrale de la série d'observations. Bien entendu, ce paramètre varie avec la longueur de la période d'observation. Cependant, la hauteur moyenne annuelle des précipitations varie peu si elle est calculée sur une période d'observations dépassant 20 à 30 ans [14]

Les données des précipitations enregistrées à la station du CRSN/LWIRO donnent dans le tableau 21 ci-après, les hauteurs de précipitations annuelles qui permettent de faire le calcul du module et de l'indice pluviométrique. En effet, le module pluviométrique annuel sera la moyenne de hauteur des précipitations annuelles des années antérieures et cela selon les intervalles définis dans le tableau 21 durant la période d'observation ; tandis que l'indice pluviométrique sera le rapport de la précipitation annuel respectivement selon les différents intervalles. D'où la valeur moyenne pluviométrique de 50 ans (de 1963 à 2012) est de 1606,78 mm comme présente le tableau 21.

Tableau 21. Hauteurs des précipitations annuelles (en mm) de 1963 à 2012 en groupe de 10x5

Années										Moyennes
1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971	1972	
P(mm)										1682,84
1855,7	1411,9	1704,9	1748	1760	1703	134,6	1786,9	1691,6	1483,6	
Années										Moyennes
1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	
P(mm)										1572,38
1681,1	1696,6	1531	1583,6	1613,8	1453,7	1428,7	1527,8	1571,9	1635,6	
Années										Moyennes
1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	
P(mm)										1610,81
1620,4	1553,8	1700,2	1536	1460,5	1850,4	1461,8	1676,8	1564,7	1683,5	
Années										Moyennes
1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	
P(mm)										1624,36
1419,3	1701,7	1809	1530,6	1514,7	1705,1	1417,9	1459,2	2182,6	1503,5	
Années										Moyennes
2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
P(mm)										1565,22
1659,1	1459,1	1742,8	1723,2	1501,6	1316,6	1554,2	1421,3	1739,7	1594,1	

A= Années ; M= Moyenne.

Moyenne pluviométrique de 50 ans (de 1963 à 2012) : 1606,78 mm

Tableau 22. Calcul de module et indice pluviométrique

INTERVAL	MODULE (mm)	INDICE
10	1648,72	1,02
20	1610,81	1
30	1624,36	1,01
40	1095,66	0,68
50	1572,38	0,97

Parmi les cinq intervalles d'années considérées pour l'étude de la variation de l'indice pluviométrique ; trois ont été riches en eau par rapport à leurs années antérieures, donnant des valeurs supérieures à un pour leurs indices pluviométriques respectifs, et par conséquent, leurs apports en eau dans le secteur seraient non négligeable tant pour les infiltrations que les ruissellements ; néanmoins, il existe deux années pauvres en eau par rapport à leurs années antérieures, donnant des valeurs inférieures à un pour leurs indices pluviométriques respectifs et en conséquence, les infiltrations efficaces seraient moins importantes dans le secteur pendant ces périodes.

Tableau 23. Fréquence des hauteurs de précipitations pour une période de 50 ans comprise entre 1963-2013

Précipitations	N° ordre	Fréquence	Année
1316,6	1	0,01	2008
1341,6	2	0,03	1969
1411,9	3	0,05	1964
1417,9	4	0,07	1999
1419,3	5	0,1	1993
1421,3	6	0,12	2010
1428,7	7	0,14	1978
1453,7	8	0,16	2004
1459,1	9	0,18	2000
1459,2	10	0,2	1987
1460,5	11	0,22	1989
1461,8	12	0,24	1972
1463,1	13	0,27	2013
1483,2	14	0,29	2014
1483,6	15	0,31	1997
1501,6	16	0,33	1980
1503,5	17	0,35	1996
1514,7	18	0,37	1975
1527,8	19	0,39	1986
1530,6	20	0,41	1984
1531,0	21	0,44	2009
1536,0	22	0,46	1991
1553,8	23	0,49	1981
1554,2	24	0,5	2009
1564,7	25	0,52	1977
1571,9	26	0,54	1983
1583,6	27	0,56	1982
1594,1	28	0,59	2012
1613,8	29	0,61	1977
1620,4	30	0,63	1983
1635,6	31	0,65	1992
1659,1	32	0,67	1971
1676,8	33	0,69	1974
1681,1	34	0,71	1985
1683,5	35	0,73	1994
1691,6	36	0,76	1968
1696,6	37	0,78	1965
1700,2	38	0,8	1998
1701,7	39	0,82	2006
1703,0	40	0,84	2005
1704,9	41	0,86	1966
1705,1	42	0,88	1998
1723,2	43	0,9	2006
1742,8	44	0,93	2005
1748,0	45	0,95	1988
1760,0	46	0,97	1963
1786,9	47	0,99	2001
1809,0	48	1,17	1995
1850,4	49	1,37	2003
1855,7	50	1,57	2007
2182,0	51		2001

A partir du tableau 24, nous déduisons la fluctuation des observations autour de la valeur centrale et explicitons-le dans le point suivant.

## **6 LA DISPERSION OU FLUCTUATION DE DIVERSES OBSERVATIONS AUTOUR DE LA VALEUR CENTRALE ET CALCUL PREVISIONNEL**

Ainsi, d'après nos calculs, les résultats obtenus se présentent comme suit : l'intervalle de variation est de 865,4 mm, l'écart type de 156,885 et la moyenne ( $\bar{x}$ ) : 1606,78 mm.

## **7 DISCUSSION**

### **7.1 RELEVÉ DES PLUIES MENSUELLES DURANT LA PÉRIODE ALLANT DE 1999-2014 A LA STATION DU CRSN/LWIRO**

Le constat est que dans le secteur d'étude, les précipitations mensuelles maximales sont autour de 200 mm d'eau, tandis que les précipitations mensuelles minimales sont autour de 20mm d'eau ; Ce qui explique le maintien d'une certaine humidité du sol durant toute l'année. Selon le tableau 1, la période des averses commence en octobre et s'arrête dans la première quinzaine du mois de février pour reprendre encore en mars et prendre fin en mai. Quant à la période des basses eaux, elle commence en juin et se termine vers la fin du mois d'août. Il tombe en moyenne 1563,78 mm ;

### **7.2 RELEVÉ DES MOYENNES DES TEMPÉRATURES AU COURS DE SEIZE DERNIÈRES ANNÉES 1999-2014 A LA STATION DU CRSN/LWIRO**

Les températures mensuelles du bassin oscillent toujours autour de 20°C. La température maximale est de 21,4°C tandis que la température minimale est de 19,3°C. Soit une amplitude annuelle de 2,1°C et par conséquent très faible amplitude thermique.

### **7.3 INDICES THERMIQUES MENSUELS ET ANNUELS AU COURS DE LA PÉRIODE DE 1999-2014**

I = indice thermique annuel défini comme la somme des indices thermiques mensuels  $i$ , 97,79

A := coefficient fonction de I : **2,06**

De ce qui précède, il s'avère maintenant opportun et important de passer aux évaluations tant mensuelles qu'annuelles des apports et pertes d'eau dans notre secteur au cours de 16 dernières années, respectivement de 1999 à 2014.

### **7.4 ESTIMATION DES APPORTS ET PERTES D'EAU DANS LE SOUS BASSIN.**

Les précipitations sont un processus hydrologique les plus variables. D'une part elles sont caractérisées par une grande variabilité spatiale et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte (régionale, locale, etc.). D'autre part, elles sont caractérisées par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux

L'estimation des apports et pertes d'eau dans le secteur durant les seize dernières années permettent de distinguer les années humides ou riches en eau aux années sèches ou pauvres en eau, selon que la réserve facilement utilisable a été au moins une fois épuisée c'est-à-dire égale à zéro ou non.

Ainsi, les années sèches sont 1999, 2000, 2002 et 2004 dont leurs modules pluviométriques sont inférieurs à la moyenne et leur rapport :  $\frac{P}{\bar{x}}$  est inférieur à 1. Néanmoins, les autres des années notamment 2001, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 et 2009 sont considérées humides car leurs modules pluviométriques sont supérieurs à la moyenne et leur rapport :  $\frac{P}{\bar{x}}$  est supérieur à 1. En effet, la particularité de ces années humides est le fait de conserver la réserve facilement utilisable non nulle et garder un certains taux d'humidité durant toutes les saisons de l'année. Après la saison sèche, lorsque P devient supérieur à ETP, le sol (supposé initialement au point de flétrissement permanent) retient de l'eau. C'est la phase de recharge. La fin de cette phase est estimée au moyen de la courbe A de variation du stock d'eau utilisable dans le sol : la date à laquelle cette courbe atteint 139 mm indique la fin de la première phase. Après cette date, l'eau en excès par rapport à l'infiltration efficace percole à travers le profil et le stock d'eau utilisable reste constant et à son maximum : c'est la phase de surplus qui dure tant que P reste supérieure à ETP. Lorsque P devient inférieur à ETP, l'eau utilisable du sol est évapotranspirée : c'est la phase d'utilisation qui dure jusqu'à ce que toute l'eau utilisable soit éliminée. La date de la fin de la phase U est indiquée par l'intersection de la courbe A avec la ligne des abscisses. Vient ensuite la phase de déficit qui se termine quand P devient supérieur à ETP [12].

## 7.5 MOYENNES DES EVAPOTRANSPIRATIONS POTENTIELLES PENDANT 16 DERNIERES ANNEES.

Le tableau 19 l'état évaporatoire de la surface du sous bassin en précisant la variation de l'évapotranspiration dans le bassin d'étude où elle est toujours de 60 mm d'eau au mois de Juin et Juillet et autour de 70 mm d'eau tout le reste des mois de l'année. C'est ce que rejoint les affirmations de [20] et qui ont montré que l'évapotranspiration potentielle, ou ETP mensuelle atteint 35 mm à 14°C, 70mm à 20°C, 140 mm à 26°C et 280mm à 32°C.

De même [20] montre qu'en Zone tropicale humide, du fait de la charge du sol et de l'atmosphère, l'ETP est proche de l'ETR. Comme la pluie, l'évapotranspiration se mesure toujours sur une période déterminée : un jour, un mois, une année, une saison.

Pour qu'une source d'eau fonctionne régulièrement, il faut que l'évapotranspiration soit compensée à chaque saison par des entrées d'eau au moins équivalentes dans le sol [15]

La teneur en eau du sol conditionne les processus d'évaporation. Plus le sol est sec et plus les flux évaporés seront faibles (C'est le cas au mois de juillet) A l'inverse, un sol saturé peut même évaporer de l'eau à un taux supérieur à celui d'une surface d'eau libre vu que le microrelief du sol peut constituer une surface évaporant plus importante que celle d'un lac ou d'un réservoir [15] C'est ce qui ressort dans le reste des mois de notre tableau 19.

## 8 MODULE ET INDICE PLUVIOMETRIQUE PENDANT UNE PERIODE DE CINQUANTE ANS COMPRISE ENTRE 1963-2013

En première approximation nous avons représenté les précipitations recueillies à la Station du CRSN/LWIRO par la hauteur des précipitations annuelles moyennes ou module pluviométrique moyen au cours d'une série d'années. Statistiquement, cela revient à choisir la moyenne arithmétique comme valeur centrale de la série d'observations. Bien entendu, ce paramètre varie avec la longueur de la période d'observation. Cependant la hauteur moyenne annuelle des précipitations varie peu si elle est calculée sur une période d'observations dépassant 20 à 30 ans [16]. La valeur moyenne est de 1606,78 mm et d'après les variations de l'indice pluviométrique selon les différents intervalles en raison de 10 ans, le constat est que le module pluviométrique ne varie pas considérablement par rapport à la valeur moyenne car il est toujours non loin de 1600mm ; parmi les cinq intervalles d'années considérées(1963 à 1972 ; 1973 à 1982 ; 1983 à 1992 ; 1993 à 2002 ; 2003 à 2012) pour l'étude de la variation de l'indice pluviométrique ; trois (1963 à 1972 ; 1973 à 1982 ; 1983 à 1992 )sont riches en eau par rapport aux suivantes( 1993 à 2012), donnant des valeurs supérieures à 1 pour leurs indices pluviométriques respectifs, et par conséquent, leurs apports en eau dans le secteur était non négligeable tant pour les infiltrations que les ruissellements ; néanmoins, il existe deux années (1993 à 2002 ; 2003 à 2012 ) pauvres en eau par rapport aux années antérieures ( 1963 à 1992), donnant des valeurs inférieures à 1 pour leurs indices pluviométriques respectifs et en conséquence, les infiltrations efficaces seraient moins importantes dans le secteur pendant ces périodes.

### 8.1 VARIATION DES INFILTRATIONS EFFICACES PENDANT UNE PERIODE DE 15 ANS COMPRISE ENTRE 1999-2013

Le tableau 20 montre l'infiltration efficace dans le sous bassin versant de Lwiro et la période favorable au captage des sources d'eau. La connaissance de l'infiltration efficace est indispensable à la détermination de la période favorable au captage des sources d'eau [17]. En effet, dans le sous bassin dont il est question dans ce travail, la période acceptable pour les études hydrogéologiques, en occurrence la détermination des réserves en eau souterraine dans un bassin par la méthode Maillet est celle comprise entre la fin du mois de Mai et le début du mois de Septembre parce que, pendant cet intervalle, l'alimentation de la nappe par les apports extérieurs est nulle, répondant ainsi à la condition exigée [18]. La période critique pour nos sources commence au mois de Mai lorsque leur alimentation en eau par les pluies diminue. Leur tarissement s'observe à partir du mois de Juillet et se prolonge jusqu'en Septembre. La recharge des nappes commence en Octobre et atteignent leurs premiers maxima en Novembre puis après la courte saison de Février, l'autre maxima est enregistré au mois d'Avril.

### 8.2 DISPERSION OU FLUCTUATION DE DIVERSES OBSERVATIONS AUTOUR DE LA VALEUR CENTRALE ET CALCUL PREVISIONNEL

La précipitation moyenne annuelle établie sur un grand nombre d'année (hauteur moyenne des précipitations annuelles tombant à un endroit donné) est aussi appelée sa valeur normale, son module annuel ou sa valeur interannuelle.

Cette caractéristique d'une série d'observation est essentielle pour l'ingénieur qui ne peut généralement se contenter de la seule considération des valeurs moyennes. En considérant la valeur centrale du dernier intervalle c'est-à-dire de 0,97 (du tableau 22) nous le traduisons quantitativement par :

La détermination de l'intervalle de variation qui est la différence entre la valeur la plus forte observée (2182,0 mm) et la valeur la plus faible de la série (1316,6 mm) ce qui donne : une valeur de 865,4 mm, un écart absolu moyen et l'écart type de 156,885. Comme la dispersion des observations peut être traduite aussi synthétiquement par le coefficient de variation (V), qui est le rapport de l'écart type à la moyenne, nous obtenons 0,098, qui est une valeur inférieure à 0,5 ; et par conséquent, la distribution des observations est normale ou symétrique et cela revient à dire que la courbe des observations obéit à la loi normale de Laplace Gauss [19]

La représentation d'une série des modules pluviométriques annuels par une loi théorique de répartition des fréquences pour cette période de cinquante ans comprise entre 1963 – 2012 peut être raisonnablement bien représentée et s'ordonnent à peu près suivant une loi de Laplace Gauss ayant pour paramètre : Moyenne  $\bar{x}$  = 1606,78 et écart type ( $\sigma$ ) = 156,88 pour paramètres la moyenne ( $\bar{x}$ ): 1606.78 mm et l'écart type ( $\sigma$ ): 156.88 mm

Ainsi, si les observations étaient réparties exactement suivant la loi de Gauss, on devrait avoir :

- I. 50% d'observations comprises entre  
 $m - \frac{2\sigma}{3}$  et  $m + \frac{2\sigma}{3}$  ; soit ici entre 1501.88 et 1711.68mm
- II. 68% d'observations comprises entre  
 $m - \sigma$  et  $m + \sigma$  ; soit ici entre 1449.38 et 1764.18mm
- III. 95% d'observations comprises entre  
 $m - 2\sigma$  et  $m + 2\sigma$  ; soit ici entre 1291.58 et 1921.58mm
- IV. 99% d'observations comprises entre  
 $m - 3\sigma$  et  $m + 3\sigma$  ; soit ici entre 1134.58 et 2078.98mm [20]

En fait, les intervalles ci-dessus représentent respectivement :

45.3 ; 65.3 ; 97.3 et 99.3 des observations relevées.

L'écart entre les fréquences observées et celles que donnerait la loi de Gauss est assez faible pour être négligeable dans maints problèmes pratiques et l'on pourra avec avantage substituer celle-ci à la lourde suite d'observations expérimentales.

Il est commode, en pratique, d'utiliser au lieu et place de l'écart à la moyenne :

$X_i - \bar{x}$  « écart réduit »  $t$  qui est le rapport de celui-ci à l'écart type :  $t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$  [21]

⇒ Ainsi, se référant au tableau 24, estimons la probabilité de voir survenir un module pluviométrique annuel compris entre telle et telle valeur (ou extérieur à l'intervalle correspondant). Cependant, en fonction des différents intervalles de fréquences repartis en dix classes, nous nous intéressons aux valeurs ou classes extrêmes pour faire en quelque sorte une étude prévisionnelle. En effet, selon l'écart réduit ou variable réduite, on trouve :

- a. Pour le module pluviométrique minimal annuel dans le sous bassin pendant 50 ans d'observation

$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} = \frac{1316,6 - 1606,78}{156,8} = -1.85$  c'est-à-dire qu'il y a 95 chances sur 100 pour que ce module pluviométrique soit compris entre 1291.98mm et 1921.58mm ou encore 100-95=5 chance sur 100 qu'il soit extérieur à cet intervalle. La courbe de Gauss étant symétrique, il en résulte qu'il y a  $\frac{5}{2} = 2.5$  chances sur 100 pour qu'il descende au dessous de 1291.98mm

- b. Pour le module pluviométrique maximal annuel dans le bassin pendant 50 ans d'observation

$t = \frac{x - \bar{x}}{\sigma} = \frac{2182 - 1606,78}{156,8} = 3.6$  c'est-à-dire qu'il n'y a pas de chance pour cet intervalle de 50 ans pour que ce module pluviométrique soit repris. Alors, selon [...22...] pour des travaux de Génie civile il conviendrait de prendre cette valeur du module pluviométrique comme la capacité minimale de collecteurs. Néanmoins, elle sera maximale en cas de problèmes techniques.

## 9 CONCLUSION

L'étude montre que : Les précipitations mensuelles maximales sont en moyennes autour de 190 mm d'eau et s'étalent sur 10 mois, tandis que les précipitations ce qui explique le maintien d'une certaine humidité du sol durant toute l'année mensuelles minimales sont autour de 20mm d'eau et s'étalent sur 2 mois (Juin et Juillet) ; Les températures dans le secteur oscillent toujours autour de 20°C. Ainsi, l'indice pluviométrique moyen est de 2,0. D'où, les apports et pertes d'eau dans le secteur au cours de 16 dernières années(1999 à 2014) montre que le pouvoir évaporatoire du sous bassin est autour de 60mm d'eau pendant le mois de Juin et Juillet et, autour de 70mm d'eau pour le reste des mois de l'année.

Ainsi, le bilan hydrologique montre que les années sèches sont 1999, 2000, 2002, 2004, 2009, 2010, 2012, 2013 et 2014 et les années humides sont 2001, 2003, 2005, 2006, 2007, 2008 et 2011 ; la particularité de ces années humides est le fait de conserver la réserve facilement utilisable non nulle et garder un certains taux d'humidité durant toutes les saisons de l'année.

L'intervalle de temps propice t et pour les travaux d'identification et de captage des sources d'eau destinées à approvisionner la population en eau potable est à situer entre la fin du mois de Mai jusqu'à la fin du mois d'Août.

En dressant un bilan simplifié de la pluie par rapport à l'évapotranspiration, observons que la période étudiée (1999-2013) est dans son ensemble humide. Les valeurs d'évapotranspiration mensuelles sont bien distribuées (Tableaux 4,5,6,7,8,9,10,11,12,13 ,14,15 ,16,17 ,18) et pratiquement constantes au cours des mois des années concernés. En revanche, la distribution de la pluie est très variable dans le temps. La période de Juin à Septembre (-466,32 mm) pour toutes les années de la période d'observation est très déficitaire que le reste des périodes des années. Ainsi, le module pluviométrique minimal dans le sous-bassin a 95 chances sur 100 pour qu'il soit compris entre 1291,98 mm et 1921,98mm ou encore 5 chances sur 100 pour qu'il soit extérieur à cet intervalle et la courbe de Gauss étant symétrique, il résulte 2,5 chances sur 100 pour que ce module excède 1921,58mm et aussi 2,5 chances sur 100 pour qu'il descende au-dessous de 1291,98 mm. Pour le module pluviométrique maximale annuel dans le sous bassin, il n'ya pas de chance pour l'intervalle de 50 ans pour qu'il soit repris. Alors pour les travaux de génie civil, il conviendrait de prendre cette valeur du module pluviométrique de 2182,0 mm comme la capacité minimale de collecteurs. Néanmoins, elle est maximale en cas de problèmes techniques ou financiers.

De ce qui précède nous suggérons que :

Vu une certaine humidité du sol durant toute l'année, dans les travaux qui suivront, il faudra déterminer la réserve facilement utilisable correcte du secteur. Malgré la quantité plus ou moins suffisante de l'eau dans le bassin, il s'avère nécessaire de penser à la gestion rationnelle des sources d'eau par la conception des réservoirs trop plein et grâce au positionnement des sources à très grand débit à une altitude très élevées, songer à les parvenir à la population jusqu'à domicile et pallier de la sorte au problème d'eau dans le groupement d'Irhambi-Katana. Dans ce bassin versant, une étude bactériologique pourrait être importante pour déceler les éventuels cas des sources polluées en vue d'interdire la consommation de leurs eaux. Dans le cadre de captage, il faudra songer à une étude hydrogéologique approfondie avant tout aménagement ou captage d'une source ou des travaux liés aux eaux souterraines pour éviter le tarissement ou les pertes d'eau. Etant donné que les précipitations sont un processus hydrologique les plus variables (grande variabilité spatiale et ceci quelle que soit l'échelle spatiale prise en compte tant régionale que locale, etc.), d'autre part, elles sont caractérisée par une grande variabilité dans le temps, aussi bien à l'échelle annuelle qu'à celle d'un événement pluvieux, nous suggérons que des mini stations pluvio-thermiques soient éparpillées dans la région pour des observations beaucoup plus représentatives.

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Monsieur l'Ingénieur RUBABURA KITUTA JEAN AUGUSTIN, tous les Techniciens de Recherche du KITUTA JEAN et tous les Agents Techniques du Département de l'Environnement à l'occurrence BAFEZA KAHIRIBA, OMBENI, RIZIKI BAHAZABULE, KANANI LIBAKU CAMUNANI pour les soutiens à la réalisation de ce travail



## REFERENCES

- [1] Aka A.A., Lubès H., Masson J.M., Servat É., Paturel J.E. et Kouamé B. Analyse de la variabilité temporelle des écoulements en Côte d'Ivoire : approche statistique et caractérisation des phénomènes. *Journal des Sciences Hydrologiques*, vol. 41, n° 6, pp. 959-970,1996.
- [2] Assani A.A. Analyse de la variabilité temporelle des précipitations (1916-1996) à Lubumbashi (Congo-Kinshasa) en relation avec certains indicateurs de la circulation atmosphérique (oscillation australe) et océanique (El Niño/La Niña). *Sécheresse*, vol. 10, n° 4, pp. 245-252 ,1999.
- [3] Ardoin-Bardin S. *Variabilité hydroclimatique et impacts sur les ressources en eau de grands bassins hydrographiques en zone soudano-sahélienne*. Thèse de l'Université de Montpellier II, Sciences et Techniques du Languedoc, pp. 437 ,2004.
- [4] Kouassi A. M. Caractérisation d'une modification éventuelle de la relation pluie-débit et ses impacts sur les ressources en eau en Afrique de l'Ouest : cas du bassin versant du N'zi (Bandama) en Côte d'Ivoire. Thèse de Doctorat unique, Université de Cocody, pp.210,2007.
- [5] PNUÉ. "Water Issues in the Democratic Republic of the Congo: Challenges and Opportunities". United Nations Environment Program, pp. 154, 2011.
- [6] Muvundja A. A thesis submitted to the graduate school in partial fulfilment of the requirements for the award of a master of science degree (fisheries and aquatic science) in zoology, Makerere University, 2010. Reg. No. 2007/HD13/11068X
- [7] B. Baluku, " contribution à l'étude des hôtes intermédiaires des bilharzioses : écologie des mollusques dulcicoles dans deux cours d'eau du Zaïre Orientale", pp. 447 , 1987.
- [8] M. Kajivunira, M. Bugoma et A. Mahese. " Evaluation des sources d'eau dans le groupement rural d'Irhambi/Katana ", *International Journal of Innovation and Scientific Research*, ISSN 2351-8014 Vol. 13 No. 1 , pp. 37-49 ,2015.
- [9] Brochet P. et Gerbier N. L'évapotranspiration, aspect agro-météorologique; évaluation pratique de l'ETP. Édité. Météorologie Nationale, Monographie n° 65, pp. 67,1968 .
- [10] Thornthwait E C .W. An approach toward a rational classification of climate. *Geogr. Review. 55-94. Cah. ORSTOM*, 1948.
- [11] Cissoko S. Sélection des paramètres locaux et synoptiques associés à l'occurrence des précipitations sur le Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire). *Agronomie Africaine*, vol. 7, pp. 89-107,1995.
- [12] Belaux P. Estimation du " régime hydrique " des sols au moyen des données climatiques. La méthode graphique : son utilisation dans le cadre *Pédologie de PORSTOM ACSAD, B.P. 2440, Damas, Syrie Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, no 3, 317-338 ,1978.*
- [13] M. Eldin, "Analyse fréquentielle des déficits hydriques cumulés au cours de la saison sèche"· en Côte d'Ivoire copyright-Orstom 1977 laboratoire de bioclimatologie b..p .v 51 – Abidjan
- [14] Anonyme. Atelier sur les statistiques de l'environnement Yaoundé, Cameroun 5-9 Décembre le rapport final ; division de statistique de l'ONU ,2011.
- [15] Dupriez H. et De Leener P. Les chemins de l'eau, l'Harmattan, 1990.
- [16] Kouakou K. E., Goula B.T.A. et Savané I. Impacts de la variabilité climatique sur les ressources en eau de surface en zone tropicale humide : cas du bassin transfrontalier de la Comoé (Côte d'Ivoire-Burkina Faso). *European Journal of Scientific Research*, vol. 16, n° 1, pp. 31-43 ,2007.
- [17] Petit M. Géographie physique tropicale, Approche aux études du milieu Morphogénèse- Paysage, Edition KARTHALA et ACCT. pp. 351, 1990.
- [18] Mahé G et Olivry J.C. Variations des précipitations et des écoulements en Afrique de l'Ouest et centrale de 1951 à 1989. *Sécheresse*, vol. 6, n° 1, pp. 109-117, 1995.
- [19] EPA. The Great Lakes Today: concerns. In: *The Great lakes: An Environmental Atlas and Resource Book*. United States Environmental Protection Agency, 2008.
- [20] Saporta G. Probabilités, analyse des données et statistique. 2<sup>e</sup> édition. Editions Technip, pp.656, 2006.
- [21] Grenier E. « Quelle est la « bonne » formule de l'écart-type ? », *La revue MODULAD*, n° 37 , 2007.
- [22] Paturel J.E., Servat É., Kouamé B., Lubès H., Masson J.M., Boyer J.F., Travaglio M. et Marieu M. Variabilité pluviométrique en Afrique humide le long du Golfe de Guinée. Approche régionale intégrée. *Documents Techniques en Hydrologie*, vol. 16, UNESCO, Paris, pp. 1-31, 1997.
- [23] Sircoulon J. Les données hydro pluviométriques de la sécheresse récente en Afrique intertropicale. Comparaison avec les sécheresses de 1913 et 1940. *Cahiers ORSTOM*, série Hydrologie, vol. 13, n° 2, pp. 75-134,1976.