

Variabilité des Écoulements dans un Bassin Versant Forestier en Voie d'Urbanisation Accélérée : Le Cas de la Mefou (Sud Cameroun)

Etienne Merlin Salvador Mewassi Aboui

Département de géographie, Université de Douala, Cameroon

Valentin Brice Ebodé

Jean Guy Dzana

Département de géographie, Université de Yaoundé I, Cameroon

[Doi: 10.19044/esipreprint.5.2023.p17](https://doi.org/10.19044/esipreprint.5.2023.p17)

Approved: 04 May 2023

Posted: 08 May 2023

Copyright 2023 Author(s)

Under Creative Commons BY-NC-ND

4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Mewassi Aboui E.M.S., Ebodé V.B. & Dzana J.G. (2023). *Variabilité des Écoulements dans un Bassin Versant Forestier en Voie d'Urbanisation Accélérée : Le Cas de la Mefou (Sud Cameroun)*. ESI Preprints. <https://doi.org/10.19044/esipreprint.5.2023.p17>

Résumé

L'objectif de cette étude est d'appréhender l'impact de la variabilité des précipitations et de l'anthropisation sur les écoulements du bassin de la Mefou sur une période récente. Pour cela, les données hydropluviométriques du bassin concerné ont été analysées au moyen du test de Pettitt. De même, la dynamique des principaux MOS (modes d'occupation du sol) a pu être appréciée, et ce au moyen des classifications supervisées effectuées à partir du traitement des images satellitaires Landsat du bassin étudié à deux dates. Les résultats de cette étude montrent que les débits moyens et extrêmes de ce bassin augmentent depuis 1985-86, contrairement à la pluviométrie, qui elle diminue d'une façon générale pour toutes les saisons à compter de la décennie 1970, en dehors de l'été, où l'inverse est observé. Les changements d'occupation du sol (augmentation des espaces imperméabilisés et diminutions de la forêt et des plans d'eau) semblent être la cause principale de la hausse des écoulements relevée. Les évolutions pluviométriques observées dans ce bassin ont juste contribué à amplifier cette augmentation des écoulements dans certains cas, et à l'atténuer dans d'autres. L'été et le printemps pour lesquels les pluies ont respectivement enregistré une rupture à la hausse et une absence de rupture sont également les saisons pour

lesquelles les augmentations des écoulements sont les plus importantes. A l'inverse, l'automne et l'hiver qui ont enregistré des diminutions significatives des pluies ont connu les augmentations les moins importantes. Ces résultats pourraient être utiles pour la planification à long terme de la demande et de l'utilisation de l'eau dans ce bassin, ainsi qu'à l'amélioration des simulations futures du débit du collecteur principal et la prévention des catastrophes socio-environnementales comme les inondations.

Mots-clés : Mefou, variabilité, précipitations, écoulements, modes d'occupation du sol

Variability of Flows in a Forest Catchment Area in the Process of Accelerated Urbanization: The Case of Mefou (South Cameroon)

Etienne Merlin Salvador Mewassi Aboui

Département de géographie, Université de Douala, Cameroon

Valentin Brice Ebodé

Jean Guy Dzana

Département de géographie, Université de Yaoundé I, Cameroon

Abstract

The objective of this study is to understand the impact of rainfall variability and anthropization on the flows of the Mefou watershed over a recent period. For this, the hydropluviometric data of the catchment concerned were analyzed using the Pettitt test. Likewise, the dynamics of the main land-use patterns could be assessed, using supervised classifications carried out from the processing of Landsat satellite images of the basin studied at two dates. The results of this study show that the average and extreme flows of this basin have been increased since 1985-86, unlike the rainfall, which generally decreases for all seasons from the 1970s, apart from the summer, where the reverse is observed. Land-use changes (increase in impervious areas and a decrease in forest and water bodies) seem to be the main cause of the observed increase in runoff. The rainfall changes observed in this basin have just contributed to amplifying this increase in runoff in some cases and attenuating it in others. The summer and the spring for which the rainfall recorded respectively an increasing break and no break are also the seasons for which the increases in runoff are the most important. Conversely, autumn and winter, which saw significant decreases in rainfall, experienced the smallest increases. These results could be useful for long-

term planning of water demand and use in this basin, as well as for improving future simulations of main collector flow and preventing socio-environmental disasters like flooding.

Keywords: Mefou, variability, precipitation, runoff, land use patterns

Introduction

Les évolutions des cours d'eau résultent généralement des interactions entre les changements climatiques et l'anthropisation (Chu et al., 2013 ; Rosburg et al., 2017 ; Aulenbach et al., 2017 ; Diem et al., 2018 ; Oudin et al., 2018), même s'il est admis que leur sensibilité face à ces facteurs dépend aussi des prédispositions naturelles (taille, système de pente, type de sol, etc.) de leurs bassins versants (Gibson et., 2005).

Cependant, les modifications des régimes hydrologiques sont bien souvent examinées sous le seul prisme des relations pluie-débit et, quelque fois, débit-nappes phréatiques (Liéno et al., 2008 ; Ebodé et al., 2020a). Très peu d'auteurs, sauf dans de rares cas (D'Orgeval et Polcher, 2008 ; Amogu et al., 2010), se sont en effet attachés à évaluer les impacts hydrologiques des changements environnementaux induits par l'homme ; tout comme sont quantitativement limitées les tentatives visant à dissocier ces derniers de ceux découlant des fluctuations exclusivement hydro-climatiques (Dzana et al, 2011 ; Ebodé et al., 2020b). Pourtant, il ne fait l'ombre d'aucun doute que les actions anthropiques, à travers notamment l'urbanisation et l'agriculture industrielle, qui ont pour corollaire la déforestation à grande échelle, se sont considérablement accrus ces trente dernières années dans toute l'Afrique sub-saharienne et même au-delà.

Le bassin de la Mefou retenu dans la présente étude a connu une urbanisation accélérée et incontrôlée, marquée notamment par une extension spatiale démesurée de la ville de Yaoundé dont la population a été multipliée par 10 en une trentaine d'années, passant de 50 000 en 1957 à 1 500 000 en 2008. Celle-ci est aujourd'hui estimée à 2 500 000 habitants et les projections prévoient qu'elle dépassera 3 000 000 d'ici 2030 (BUCREP, 2011). Cette croissance démographique dont le principal corollaire est l'accroissement des espaces imperméabilisés a certainement provoqué un changement des relations pluie/débit et du régime hydrologique, qui nécessite une nouvelle étude de la variabilité hydrologique.

Cette étude est consacrée à l'analyse des relations pluie/débit sur une période récente dans le bassin de la Mefou, au moyen des séries hydropluviométriques actualisées et des classifications obtenues à partir du traitement des images satellitaires. Elle apparaît fondamentale pour ce bassin qui abrite la capitale politique du pays (Yaoundé), mais où de nombreux problèmes socio-environnementaux sont observés, en occurrence les

inondations. En outre, les données et les nouveaux entrants aideraient à la planification à long terme de la demande et de l'utilisation de l'eau, ainsi qu'à l'amélioration des simulations futures du débit de ce cours d'eau. L'objectif principal de cet article est donc de documenter le type et l'ampleur des changements de régime de la Mefou dus aux changements climatiques et à l'anthropisation.

Materiel et methodes

Cadre d'étude

Situé entre 3°43' et 3°58' de latitude Nord, et entre 11°21' et 11°35' de longitude Est, le bassin de la Mefou (sous-bassin en rive droite du bassin du Nyong) couvre une aire de 428 km² à Nsimalen (figure 1). Il s'agit d'un bassin sub-équatorial (Olivry, 1986), avec des précipitations annuelles oscillant autour de 1600 mm, réparties sur quatre saisons d'inégale importance, dont deux sèches et deux pluvieuses. Les saisons de pluies (du printemps et d'automne boréal) sont généralement très humides avec des totaux records avoisinant 900 mm et marquées par de nombreux orages qui occasionnent parfois des crues importantes. La saison sèche d'hiver est la seule véritable saison sèche de la région, avec des précipitations moyennes oscillant respectivement autour de 90 mm, la saison sèche d'été ayant tendance à devenir de plus en plus humide dans la région depuis les années 80 (Liéno et al., 2008). Le relief du bassin de la Mefou est caractérisé par des collines et des plateaux aux versants convexes et de multiples vallées à fond plats drainées par des cours d'eau. Le bassin de la Mefou est situé dans le domaine Sud de la chaîne panafricaine Nord Equatoriale au Cameroun d'âge 540 à 600 millions d'année, représenté ici par le groupe de Yaoundé qui est limité dans sa partie australe par le craton du Congo. La série de Yaoundé est formée de deux ensembles lithologiques distincts à savoir un ensemble méta-sédimentaire constitué des gneiss migmatitique para dérivé à grenat, disthène et muscovite et un autre fait de métaplutonite (gneiss ortho dérivé à grenat, plagioclase et pyroclastique). Ces roches s'altèrent pour donner des sols ferrallitiques rouges ou jaunes qui sont rencontrés aux sommets des collines et sur les versants de basses pentes. Les sols hydromorphes quant à eux sont localisés dans les zones de bas-fonds marécageux. La végétation rencontrée sur ce bassin est une forêt dense semi-décidue à Sterculiacées et Ulmacées fortement soumise aux actions anthropiques (Letouzey, 1987).

Sources des données

La série de pluies utilisée dans cette étude est celle de la station de Yaoundé. Couvrant la période comprise entre 1950-51 et 2018-19, elle a été

obtenues auprès du service météorologique du Ministère des transports au Cameroun et est dépourvue de lacunes.

La série de débits de la Mefou provient du CRH (Centre de Recherches Hydrologiques). Elle est lacunaire au cours des décennies 1980 et 1990. En effet, après 1987, du fait des contraintes budgétaires, le service hydrologique n'a plus garanti la continuité des observations. On note alors l'abandon d'un grand nombre de stations observées, dont celle du bassin étudié.

Les données spatiales utilisées pour l'étude de l'occupation du sol dans le bassin de la Mefou sont essentiellement les images satellitaires Landsat 8 de janvier 2018 et Landsat MSS de mars 1973. Le bassin étudié s'étend uniquement sur la scène 185/57 pour le premier capteur évoqué, et 199/57 pour le second. L'ensemble de ces images sont mise à disposition du grand public gratuitement par la National Aeronautics and Space Administration (NASA), via le site de l'US Geological Survey _ au format GeoTIFF. Les images téléchargées prises lors de la saison sèche d'hiver (décembre à mi-mars) ont été préférées à celle des saisons de pluies, puisqu'elles sont moins affectées par les perturbations nuageuses.

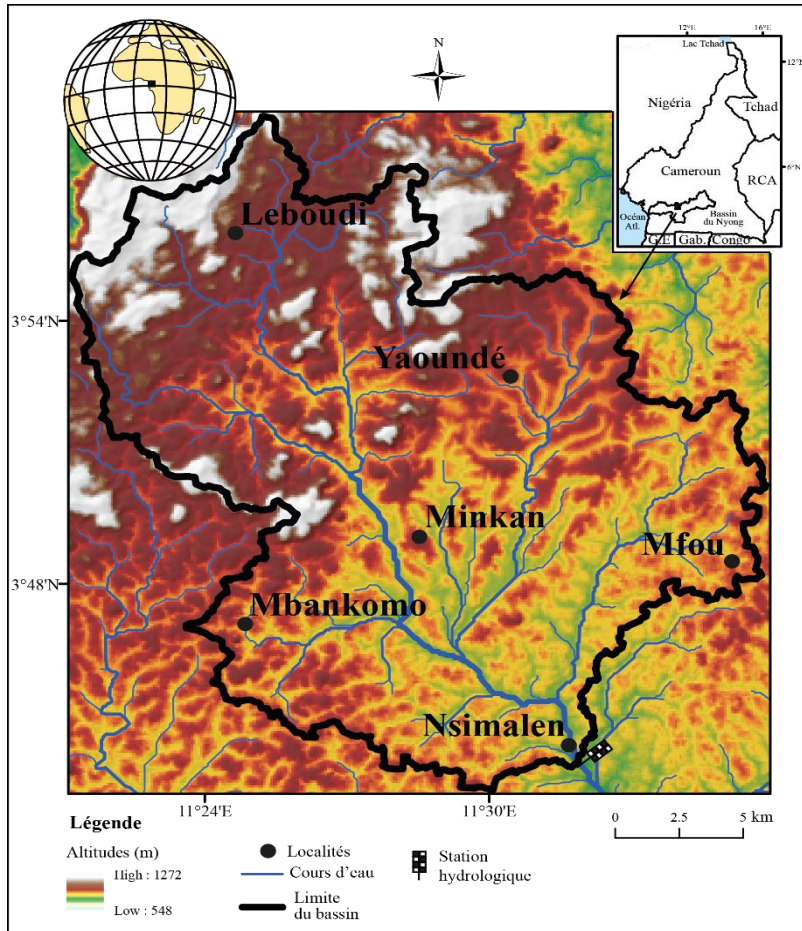


Figure 1. Localisation du bassin versant de la Mefou à Nsimalen

Analyse des données

L'analyse des séries de pluies, des débits moyens et des coefficients d'écoulement a été réalisée à l'aide des tests statistiques de détection de rupture (corrélation sur le rang et test de Pettitt; Lubès et al., 1994), au seuil de signification 95 %. Le test de Pettitt semble être celui le plus approprié pour l'analyse des séries lacunaires comme les nôtres, parce qu'il sépare la série uniquement en deux périodes ayant un comportement globalement distinct, ce qui évite la détection des fausses ruptures comme on peut parfois l'observer avec d'autres tests comme la segmentation d'Hubert. Son choix au détriment des tests de tendance (test de Mann-Kendall par exemple) se justifie par le fait qu'il indique une date à partir de laquelle le changement devient significatif statistiquement parlant (rupture), ce qui permet une meilleure appréciation de la variabilité. Son principe consiste à diviser la série étudiée (d'effectif N) en deux sous échantillons de tailles m et n respectivement. On calcule alors la somme des rangs des éléments de chaque

sous échantillon dans l'échantillon total. Une étude statistique est ensuite réalisée à partir des deux sommes ainsi déterminées, puis elle est testée selon l'hypothèse d'aucune appartenance des deux sous échantillons à la même population. Le test de Pettitt est non paramétrique et dérive de celui de Mann Whitney. L'absence de rupture dans la série (X_i) de taille N constitue l'hypothèse nulle. Sa mise en œuvre suppose que pour tout instant T compris entre 1 et N , les séries chronologiques $(X_i)_{i-1}$ à t et $t+1$ à N appartiennent à la même population. La variable à tester est le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t, N}$ défini par :

$$U_{t, N} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^N D_{ij}$$

Où $D_{ij} = \text{Signe}(X_i - X_j)$ avec : $\text{signe}(x) = 1$ si $x > 0$, 0 et -1 si $x < 0$
 Si l'hypothèse nulle est rejetée, une estimation de la date de rupture est donnée par l'instant définissant le maximum en valeur absolue de la variable $U_{t, N}$.

Dans l'optique d'apprécier le comportement des débits extrêmes, l'outil Indicators of Hydrologic Alteration (IHA), version 7.1, développé par The Nature Conservancy a été utilisé. Cet outil offre la possibilité de comparer les paramètres caractérisant les régimes d'écoulements sous différentes conditions (Richter et al., 1998). Il utilise les valeurs journalières de débits et produit plusieurs statistiques importantes. On s'intéressera uniquement à 4 d'entre elles jugées essentielles pour cette étude, parmi lesquelles : la moyenne et le coefficient de variation des différentes gammes de débits extrême, la date julienne du minimum et maximum annuel. En divisant la série de valeurs en période avant et après la rupture, l'outil calcule le changement survenu dans l'évolution de chacun de ces paramètres après la rupture. On peut ainsi être fixé après l'analyse, non seulement sur le sens de variation entre les deux périodes, mais aussi sur l'écart entre les valeurs de ces mêmes périodes.

La classification supervisée par maximum de vraisemblance des images satellitaires Landsat téléchargées, et ce, à l'aide du logiciel SNAP (en accès libre), nous a permis d'effectuer une analyse diachronique de l'évolution de l'occupation du sol dans le bassin étudié. Cette opération a été précédée des opérations de prétraitement et de reconnaissance d'objets sur le terrain par photographie et GPS (Global Positioning System). Le prétraitement des images satellites se réfère à l'ensemble des procédés appliqués aux données brutes pour corriger les erreurs géométriques et radiométriques qui caractérisent certaines images satellites. Ces erreurs sont généralement dues aux problèmes techniques des satellites et aux interactions entre le rayonnement électromagnétique sortant et les aérosols atmosphériques, encore appelés « bruits atmosphériques ». Les perturbations

atmosphériques dont il est question, sont influencées par des facteurs différents qui sont présents le jour de l'acquisition, dont le temps, les incendies et autres activités humaines. Elles affectent toutes les images acquises par les satellites passifs dont les Landsat 4-5-7 et 8. Les images Landsat téléchargées étant orthorectifiées, le prétraitement a concerné la correction atmosphérique de ces images et leur reprojection dans le système local (WGS_84_UTM_Zone_32N). Pour cela, des néo-canaux sont créés, afin d'augmenter la lisibilité des données en rehaussant certaines propriétés moins évidentes dans l'image originale, montrant ainsi plus clairement les éléments de la scène. Trois indices sont donc créés, à savoir : l'indice de végétation normalisé (NDVI), l'indice de brillance (IB) et l'indice normalisé d'humidité (NDWI). Ces indices mettent respectivement en évidence les surfaces végétalisées, les éléments stériles (non chlorophylliens) comme l'urbain et les plans d'eau. Leurs formules sont les suivantes $NDVI = (PIR - R)/(PIR + R)$; $IB = (R^2 + PIR^2)^{0.5}$ et $NDWI = (PIR - MIR)/(PIR + MIR)$, avec PIR : réflectance au sol de la surface dans le canal proche infrarouge ; R : réflectance au sol de la surface dans le canal rouge et MIR : réflectance au sol de la surface dans le canal moyen infrarouge. Etant donné que les bassins étudiés s'étendent sur plusieurs scènes, les opérations de rehaussement ont été suivies de la mosaïque des différentes scènes utilisées à chaque date. Il s'agit d'une opération consistant à lier deux ou plusieurs images adjacentes en une image unique. L'utilisation de Google Earth, ainsi que les espaces échantillonnés à partir du GPS ont permis d'identifier avec certitude les espaces ruisselants (bâti, savanes, sols nus et cultures), les plans d'eau (larges rivières, lacs et étangs) et les forêts (secondaires, dégradées, non dégradées et marécageuses) de chaque mosaïque. Avant l'opération de classification proprement dite, la séparabilité des signatures spectrales des objets échantillonnés pour éviter les confusions interclasses a été évaluée en calculant l'indice de « divergence transformée ». La valeur de cet indice est comprise entre 0 et 2. Une valeur > 1,8 indique une bonne séparabilité entre deux classes données. Les différentes classes retenues dans cette étude montrent une bonne séparabilité entre elles, quelle que soit l'image considérée, avec des indices > 1,9 (tableau 1). La validation des classifications obtenues a été effectuée à partir de la matrice de confusion, laquelle a permis d'obtenir les précisions du traitement, afin de valider le choix des parcelles d'entraînement. Après avoir validé les cartes d'occupation du sol réalisées, une étude du changement analyse les différences statistiques et spatiales de chaque classe aux deux dates retenues pour chacun des bassins. Pour comprendre par la suite l'origine des changements observés, les statistiques démographiques et agricoles sont analysées. L'objectif ici étant de consolider les résultats obtenus pour les différentes classifications et les tendances qui en découlent dans le temps.

Resultats et discussion

Evolution des écoulements

Les principaux traits et tendances de la variabilité hydrologique dont il est fait état ici sont ceux qui ont été décelés pour les débits moyens (annuels et saisonniers) et extrêmes (maximums et minimums).

Le test de Pettitt appliqué à la série des modules annuels et saisonniers de la Mefou met en évidence une rupture majeure à la hausse dans les différents cas au cours de l'année hydrologique 1985-86 (tableau 1). Les taux de variation qui en découlent se situent entre +27,8 % (automne) et +66,4 % (printemps). L'analyse des écarts décennaux révèle également une augmentation des écoulements de la Mefou depuis la décennie 1980, bien qu'une légère flexion soit en général observée au cours de la décennie 2010 (tableau 2). Une comparaison effectuée avec d'autres rivières équatoriales comme le Ntem et l'Ogooué, ou même avec le Nyong dont les séries chronologiques des modules annuels ont été analysées selon la même approche (voir Liéno et al., 2008 ; Conway et al., 2009), fait apparaître des évolutions en opposition de phase et en même temps décalées par rapport à la Mefou. Tout d'abord, la rupture statistiquement significative qui a été décelée marque, dans le cas étudié, le début d'une période hydrologique excédentaire alors que c'est une évolution en sens inverse qui est observée sur les rivières suscitées. Il apparaît ensuite que celle-ci est plus tardive sur la Mefou (1985-86) ; a contrario, elle s'est produite beaucoup plus tôt sur les trois autres rivières objets de la comparaison : plus exactement en 1977 sur l'Ogooué à Fougamou, en 1971 sur le Ntem à Ngoazik et en 1973 sur le Nyong à Mbal Mayo.

Tableau 1. Résultats du test de Pettitt appliqué aux pluies, débits et coefficients d'écoulement annuel et saisonnier du bassin de la Mefou sur leurs périodes d'étude respectives

Périodes	Pluies		Débits		Ke	
	Rupture	Variation n (%)	Rupture e	Variation (%)	Rupture	Variation (%)
Annuel	-	-	185-86	+55,2	185-86	+291,8
Printemps	-	-	185-86	+66,4	185-86	+88,7
Eté	1979-80	+42,8	185-86	+62,8	2004-05	+76,6
Automne	1972-73	-11	185-86	+27,8	-	-
Hiver	1978-79	-39	185-86	+40	185-86	+430,4

En s'intéressant aux débits extrêmes, on note une augmentation de l'ensemble des gammes de minimums et de maximums après la rupture. Les minimums ont augmenté suivant des taux allant de +57,1 % (minimum sur 90 jours) à 82,3 % (minimum sur 7 jours) (tableau 3). Les augmentations des maximums sont comprises entre 31,2 % (maximum sur 7 jours) et 46,5 %

(maximum sur 90 jours). Si pour les volumes des eaux de crue écoulés à l'exutoire on note une évolution à la hausse, tel n'est cependant pas le cas pour les dates d'apparition du maximum et du minimum annuel qui, après la date de rupture, sont respectivement passées en moyenne de 302 à 180 et de 88 à 71 (Tableau 3). Tout ceci reflète une plus grande sensibilité du bassin versant aux précipitations saisonnières capables de produire des écoulements rapides de crue sur les versants et de conduire à une réponse rapide du cours d'eau à l'exutoire. Les effets de l'urbanisation sur les écoulements ont déjà été mis en évidence dans un bassin plus étendu de la région étudiée, en occurrence celui du Nyong (Ebodé et al., 2020b). Ces derniers se traduisent non seulement par un maintien des maximums, alors que les pluies qui les génèrent diminuent, mais aussi par une précocité dans leur date moyenne d'apparition au fil du temps.

Tableau 2. Ecarts (%) des moyennes décennales annuelles et saisonnières des pluies, débits et coefficients d'écoulement par rapport à leurs moyennes interannuelles sur le bassin de la Mefou

Variables	Décennies	Ecartés décennaux				
		Annuel	Printemps	Été	Automne	Hiver
Pluies	1950	3,1	7,5	-27,1	3,9	20,4
	1960	8	4,8	-5	10,5	38,4
	1970	-3	3,5	-24,7	-7,7	20,8
	1980	4,7	2,9	30,2	4,7	-30,6
	1990	-9,7	-19,4	19,3	-5,6	-19,5
	2000	5,7	8,4	18,1	0,4	-1,2
	2010	-12,6	-11,2	-15,1	-9	-41,2
Débits	1960	-18,7	-29,8	-35,7	-10,4	-11,7
	1970	-30,4	-33,5	-38,8	-18,2	-29,3
	1980	26,7	9,3	48,3	28,2	24,5
	1990	-	-	-	-	-
	2000	23,6	28,5	24,8	12,4	17,3
	2010	14,8	21,8	7,2	9,7	0,3
Ke	1960	-55,7	-29,4	-40,8	-18,2	-61,8
	1970	-65,4	-35,7	-7,0	-1,0	-76,9
	1980	-2,1	-10,2	-25,6	0,3	-0,2
	1990	-	-	-	-	-
	2000	-4,4	24,6	17,3	6,8	-8,9
	2010	137,2	43,7	41,2	10,7	161,2

Les facteurs explicatifs des fluctuations hydrologiques observées

La différence d'évolution entre les écoulements de la Mefou et celles des autres cours d'eau équatoriaux nécessitent des explications qui peuvent être trouvées en examinant les modifications hydrologiques observées à la lumière des changements climatiques et environnementaux observés dans le bassin sur le même laps de temps.

Des altérations hydrologiques incorporant les effets des changements des modes d'occupation du sol

Une analyse de détection des changements menée sous SNAP, par comparaison diachronique des résultats des classifications supervisées effectuées à partir des images Landsat (MSS de 1973 et Landsat 8 de 2018), montrent d'importantes évolutions dans les modes d'occupation et d'utilisation des sols dans le bassin de la Mefou (figure 2). De façon générale, on note une augmentation significative des espaces imperméabilisés (constitués du bâti, de la voirie et des zones de culture) d'environ +530 % (tableau 4). Cette augmentation se fait au détriment des espaces forestiers et des plans d'eau qui diminuent respectivement de -52,9 % et -80,4 % (tableau 4). Des constats similaires avaient déjà fait par d'autres auteurs en Afrique centrale (Ebodé et al., 2020b) et occidentale (Mahé et al., 2003 ; D'Orgeval et Polcher, 2008 ; Souley yero et al., 2008 ; Kergoat et al., 2007 ; Leblanc et al., 2008).

Tableau 3. Statistiques relatives aux débits maximums et minimums de la Mefou avant et après la rupture

Paramètres IHA	Moyenne (m ³ /s)		Coefficient de variation (%)		Variation	
	Avant la rupture	Après la rupture	Avant	Après		
			la rupture	la rupture	m ³ /s	%
Débits minimums						
Minimum sur 1 jour	1,5	2,6	0,33	0,34	+1,1	+73,3
Minimum sur 3 jours	1,6	2,9	0,27	0,31	+1,3	+81,2
Minimum sur 7 jours	1,7	3,1	0,25	0,29	+1,4	+82,3
Minimum sur 30 jours	2,3	3,9	0,27	0,28	+1,6	+69,5
Minimum sur 90 jours	3,5	5,5	0,27	0,22	+2	+57,1
Débits maximums						
Maximum sur 1 jour	16,4	23,1	0,31	0,19	+6,7	+40,8
Maximum sur 3 jours	15,3	20,3	0,31	0,13	+5	+32,6
Maximum sur 7 jours	14,1	18,5	0,32	0,12	+4,4	+31,2
Maximum sur 30 jours	11,7	15,8	0,35	0,14	+4,1	+35
Maximum sur 90 jours	8,8	12,9	0,34	0,19	+4,1	+46,5
Date julienne						
du minimum	88	71				
du maximum	302	180				

Des changements de ce type et d'une telle ampleur ne peuvent qu'induire des altérations hydrologiques, les plus perceptibles étant, dans le cas étudié, l'augmentation des écoulements moyens et extrêmes et la précocité dans l'observation des maximums. S'agissant de l'augmentation

des écoulements, il faut relever que dans un contexte où les précipitations des saisons pluvieuses qui génèrent les débits maximums diminuent (tableaux 1 et 2), le plus logique aurait été qu'on assiste à leur diminution, ce qui n'est pourtant pas le cas. Le taux d'urbanisation actuel de ce bassin semble être le facteur le plus pertinent pour justifier cette tendance. Dans ce cas, la diminution des précipitations semble avoir été compensée par l'accroissement du ruissellement. Les coefficients d'écoulements moyens annuels de ce bassin augmentent en effet significativement depuis la décennie 1980 (tableaux 1 et 2), à la suite d'une phase d'urbanisation accélérée dans la partie ouest de ce bassin (région de Yaoundé) à partir de la décennie 1980, consécutivement aux opérations de lotissement entrepris depuis la fin des années 1970 par les autorités municipales (Dzana et al. (2004). S'agissant de la précocité des maximums, les changements d'états de surface observés réduisent la durée nécessaire à leur apparition par l'accentuation du ruissellement qu'ils occasionnent.

Des seuils de surfaces imperméabilisées au-delà desquels l'urbanisation est supposée avoir, à l'échelle du bassin versant, une influence statistiquement significative sur les écoulements de rivière sont proposés dans la littérature, quoique les chiffres avancés par les différents auteurs soient quelque peu antinomiques. Booth et Jackson (1997) situe ainsi ce seuil à 10 % de surfaces imperméabilisées, tandis que Brun et Band (2000) le situe à 20 %. Dans tous les cas, en restant strictement dans les limites du bassin versant de la Mefou défini par rapport à la station de Nsimalen d'une part, et en prenant en considération les surfaces urbaines (bâti et voirie) évaluées à partir de l'image Landsat 8 de 2018 d'autre part, il apparaît que ces taux d'imperméabilisation, qui excèdent 50 %, sont largement dépassés dans le cas étudié. Dans ces conditions, il est logique que des altérations hydrologiques comme celles qui ont été mises en évidence puissent survenir dans ce bassin versant. L'impact de l'urbanisation sur les écoulements a maintes fois été signalé dans des études faites en Afrique subsaharienne (Kouassi, 2007 ; Leblanc et al., 2008 ; Amogu et al., 2010). Ces travaux ont mis évidence une hausse des écoulements moyens, suite à une augmentation des espaces imperméabilisés dans les bassins des cours d'eau étudiés.

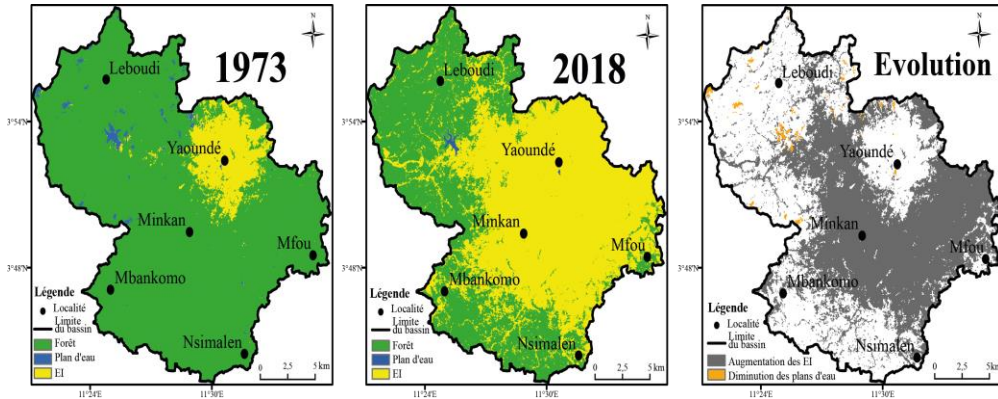


Figure 2. Changements observés dans la distribution spatiale des principaux modes d'occupation du sol du bassin de la Mefou entre 1973 et 2018 EI : espaces imperméabilisés
Tableau 4. Evolution des principaux modes d'occupation du sol dans le bassin versant de la Mefou entre 1973 et 2018

Classes	Superficies (Km ²)		Variation	
	1973	2018	Km ²	%
Forêt	384,2	181,1	-203,1	-52,9
EI	39,2	247	207,8	530
Plan d'eau	4,6	0,9	-3,7	-80,4

Le rôle amplificateur des variations des précipitations dans les fluctuations hydrologiques observées

Les pluies d'été sont les seules qui augmentent significativement dans le bassin de la Mefou, et ce, depuis 1979-80. L'excédent noté est de +42,8 % (tableau 1). Les précipitations annuelles et celles des autres saisons diminuent. Les baisses statistiquement significatives sont relevées pour les pluies d'automne (en 1972-73) et d'hiver (en 1978-79). Les déficits respectivement enregistrés après la rupture dans ces deux cas sont de -11 % et de -39 % (tableau 1).

Les différents cas où l'on observe une rupture à la baisse (automne et hiver) sont aussi ceux pour lesquels les augmentations des écoulements sont les moins importantes après la rupture commune de 1985-86. Par contre, les augmentations des écoulements les plus importantes sont observées dans les cas où l'on note une rupture à la hausse (été) ou une absence de rupture (printemps). De même, la décennie 2010, caractérisée par une chute importante des précipitations, se trouvent aussi être celle pour laquelle les surplus observés depuis la décennie 1980 sont en général les plus faibles, en dehors du printemps pour lequel le surplus reste relativement élevé (tableau 2).

Conclusion

Le bassin versant de la Mefou a connu entre 1973 et 2018, des changements d'occupation du sol essentiellement marqués par un accroissement important des espaces imperméabilisés (+530 %) au détriment des surfaces forestières (-52,9 %) et des plans d'eau (-80,4 %). Ces changements ont provoqué non seulement une hausse significative des écoulements moyens et extrêmes de son collecteur principal depuis 1985-86, mais aussi une précocité dans l'observation des maximums. Les évolutions pluviométriques observées dans ce bassin ont contribué à amplifier cette augmentation dans certains cas, et à la réduire dans d'autres. L'été et le printemps pour lesquels les pluies ont respectivement enregistré une rupture à la hausse et une absence de rupture sont également les saisons pour lesquelles les augmentations des écoulements sont les plus importantes. A l'inverse, l'automne et l'hiver qui ont enregistré des diminutions significatives des pluies ont connu les augmentations les moins importantes.

References:

1. M. L. Chu, J. H. Knouft, A. Ghulam, J. A. Guzman and Z. Pan., *J. Hydrol.*, 495 (2013) 1 – 12.
2. T. T. Rosburg, P. A. Nelson and B. P. Bledsoe, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 53 (2017) 493 – 507.
3. B. T. Aulenbach, M. N. Landers, J. W. Musser and J. A. Painter, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 53 (2017) 382 – 399.
4. J. E. Diem, T. C. Hill and R. A. Milligan, *J. Hydrol.*, 556 (2018) 61 - 71
5. L. Oudin, B. Salavati, C. Furusho-Percot, P. Ribstein and M. Saadi, *J. Hydrol.*, 559 (2018) 774 – 786.
6. C. A. Gibson, J. L. Meyer, L. E. Poff and A. Georgakakos, *River Res. Appl.*, 21 (2005) 849 – 864.
7. G. Lienou, G. Mahe, J. E. Paturel, E. Servat, D. Sighomnou, G. E. Ekodeck, A. Dezetter et C. Dieulin, *Journal des Sciences Hydrologiques*, 53 (2008) 789 – 800.
8. V. B. Ebode, G. Mahe, J. G. Dzana, J. A. Amougou et R. A. Batha, *Afrique Science*, 17 (2020b) 110 -125.
9. T. D'orgeval and J. Polcher, *Clim. Dyn.*, 31 (2008) 249 – 262.
10. O. Amogu, L. Descroix, K. S. Yero, E. Le breton, I. Mamadou, A. Ali, T. Vischel, J. C. Bader, I. B. Moussa, E. Gautier, et al., *Water*, 2 (2010) 170 – 199.
11. J. G. Dzana, N. J. R. Ndam and P. Tchawa, *River Res. Appl.*, 27 (2010) 754 – 771.
12. V. B. Ebode, G. Mahe G, J. G. Dzana and J.A. Amougou, *Water*, 12 (2020) 2718.

13. Bucrep, *Rapport de présentation des résultats définitifs du recensement de la population en 2005*, Yaoundé, Cameroun, 2011.
14. J. C. Olivry, *Fleuves et rivières du Cameroun*, MESIRES–ORSTOM, Paris, 1986.
15. R. Letouzey, *Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1 :500.000*. IRA, Yaoundé, Institut de la Carte Internationale de la Végétation, Toulouse, (1985).
16. H. Lubes, J. M. Masson, E. Servat, J. E. Paturel, B. Kouame et J. F. Boyer, *Caractérisation des fluctuations dans une série chronologique par applications de tests statistiques*. Etudes bibliographiques UR2-CEC, Orstom, Montpellier (1994).
17. B. D. Richter, J. V. Baumgartner, D. P. Braun and J. Powell, *Regulated Rivers: Research and Management*, 39 (1998) 329 – 340.
18. D. P. Conway, A. Persechino, S. Ardoin–Bardin, H. Hamandawana, C. Dieulin and G. MAHE, *Journal of hydrometeorology*, 10 (2009) 41 – 59.
19. G. Mahe, C. Leduc, A. Amani, J. E. Paturel, S. Girard, E. Servat, A. Dezetter, *IAHS Publications*, 278 (2003) 215 – 222.
20. M. Kouassi, *"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, Université de Cocody, Côte d'Ivoire, 210 p.
21. L. Kergoat, P. Hiernaux, F. Baup, N. Boulain, B. Cappelaere, J. M. Cohard, L. Descroix, S. Galle, S. Guilbert, F. Guichard, et al., *Land surface in AMMA: Extending Ecosystem, Energy and Water Balance Studies in Space and Time is Some-Times Surprising*. In Proceedings of the 2nd International Conference of AMMA Program, Karlsruhe, Germany, 26–30 November 2007.
22. M. Leblanc, G. Favreau, S. Massuel, S. Tweed, M. Loireau and B. Cappelaere, *Glob. Planet. Chang.*, 61 (2008) 49 – 62.
23. J. G. Dzana, J. A. Amougou et V. Onana, *Mosella* 29 (2004) 78 – 91.
24. D. B. Booth and C. R. Jackson, *J. Am. Water Resour. Assoc.*, 33 (1997) 1077 – 1090.
25. S. E. Brun and L. E. Band, *Computers, Environment and Urban Systems* 24 (2000) 5 – 22.