
Évaluation de la susceptibilité des sols au ruisseau dans le bassin versant du Knam (Ouest Cameroun), en appliquant la méthode Services de Conservation des Sols Numéro de Courbe

Gabriel NANFACK^{1*}, Etame SONE DIABE²

¹ Université de Dschang, Unité de Recherche en Climatologie et Environnement, Dschang, Cameroun

² Université de Maroua, Faculté des Arts, Lettres et Sciences Humaines, Département de Géographie, Maroua, Cameroun Maroua, Cameroun

Received 10 February 2021; Revised 12 March 2021; Accepted 12 April 2021

*Correspondence to: Gabriel NANFACK, e-mail: gabriel.nanfack@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Le ruissellement pluvial en zone de montagne constitue un problème environnemental de plus en plus préoccupant. Dans le bassin versant du Nkam où on observe une forte dynamique paysagère, Il est à l'origine de phénomènes violents tels que l'érosion des sols, les inondations ou les coulées boueuses. Il réduit de plus en plus les terres cultivables et les capacités de réservoirs d'eau et, affaiblit les revenus des populations. Partant de ce constat, le présent article évalue la susceptibilité des sols de ce bassin au ruissellement. La méthode d'évaluation développée associe le Système d'Information Géographique (SIG) à la méthode Services de Conservation des Sols Numéro de Courbe (SCS CN), basé sur les caractéristiques physiques, l'utilisation, et les conditions hydrologiques des sols sont utilisés. À cet effet, les cartes des sols, des pentes et de l'occupation du sol ont été réalisées et croisées pour déterminer le niveau de sensibilité des sols au ruissellement. Les résultats obtenus indiquent que 58% du bassin est constitué de pentes > 15%, les sols y sont constitués de minéraux facilement altérables. Une régression forestière de l'ordre de -2,79 % par an entre 1978 et 2019 a été constatée. La combinaison de ces trois facteurs indique que les sols de la région étudiée ont atteint un seuil inquiétant d'exposition au ruissellement (CN = 67). Le reboisement et les techniques de culture sans labour en amont du bassin atténueraient l'effet de ruissellement.

MOTS CLÉS Ruissellement, sol, érosion, SCS CN, bassin versant du Nkam, Ouest Cameroun

ABSTRACT

Runoff in mountain areas is an increasingly worrying environmental problem. In the Nkam watershed where we observe a greater change in the landscape, it is at the origin of certain phenomena such as soil erosion, floods and

mud flow. It increasingly reduces arable land, decreases the capacity of water reservoirs and weakens the income of the populations. Based on this observation, this article assesses the susceptibility of the soils in this basin to runoff. The evaluation method developed to carry out this investigation combines the Geographic Information System (GIS) with the Soil Conservation Services Curve Number (SCSCN) method, based on the physical characteristics, land use and hydrological conditions of the soils used. With these, the soil, slope and land use maps were produced and superposed to determine how sensitive the soils are to runoff. The results obtained indicate that 58% of the basin is made up of slopes > 15%, the soils are made up of easily weathered minerals and the rate of forest regression is - 2.79% per year between 1978 and 2019. The combination of these three factors indicates that soils in the study area have reached a worrying threshold of exposure to runoff (CN = 67). Reforestation and no-till cultivation techniques upstream of the basin would mitigate the runoff effect.

KEYWORDS runoff, soil, erosion, SCS CN, Nkam watershed, West Cameroon

1. Introduction

Le sol est le siège des processus biologiques vitaux pour la continuité de la vie sur Terre. Il constitue, en effet, le fondement de la quasi-totalité de notre alimentation et de nos ressources forestières. Cependant, depuis plus de 40 ans, 30% de terre dans le monde sont devenues non-productives (Pimentel, 2006) et cette non-productivité a été attribuée à l'érosion des sols par ruissellement (El Hage Hassan, 2013). Ce phénomène hydrologique naturel (ruissellement) qui parfois prend des allures d'aléa naturel, est favorisé par les pratiques culturelles de déforestation et d'agriculture non adaptées aux conditions physiographiques locales (pente, sol et climat) (Djoukeng et al., 2015). Ceci est d'autant plus vrai pour les bassins versants tropicaux intramontagnards à sols fragiles soumis à des précipitations intenses. Au niveau du bassin versant du Nkam, comme dans toute la région des Hautes Terres de l'Ouest Cameroun (HTOC), l'agriculture reste pour les populations, la principale activité économique (Ngoufo, 1992; Ngoufo et al., 2001; Kaffo, 2005; Kaffo et Fongang, 2009; Lounang et al., 2014). Cette agriculture reste largement extensive et l'attachement des populations aux pratiques traditionnelles constituent des obstacles à l'amélioration de la fertilité des sols. Il s'en suit donc une dégradation continue des sols par ruissellement qui limite le développement agricole du bassin. Cependant, l'appréhension du phénomène de ruissellement reste encore incomplète bien qu'elle ait déjà fait l'objet de nombreuses études (Sadiki et al., 2004; Kacem et al., 2014; Kacem et al., 2017). Cela vient probablement du fait que les paramètres

explicatifs de ce phénomène diffèrent d'un lieu à l'autre et leur estimation reste difficile à l'échelle du bassin versant. L'évaluation de la susceptibilité des sols au ruissellement dans le bassin versant du Nkam est donc l'objectif de cet article qui nécessite l'appréhension des caractéristiques de la surface du sol (pente, type de sol, utilisation du sol, etc.). Afin de mieux modéliser la susceptibilité des sols au ruissellement, la présente étude utilise la méthode SCS CN associée aux SIG dans le but de cerner les prédispositions naturelles et anthropiques qui caractérisent l'exposition des sols. Il s'agit d'une approche cartographique qui intègre et fait interagir les facteurs qui influencent le ruissellement dans les régions de montagne. C'est notamment le cas du bassin versant du Nkam située sur les HTOC. L'hypothèse qui sous-tend cette recherche postule que l'exposition des sols au ruissellement dans le bassin versant du Nkam est tributaire à une forte régression du couvert végétal induite par l'action humaine sur les terrains pentus aux sols facilement altérables. Ainsi, à la suite d'une présentation rapide de la zone d'étude, on procédera à la cartographie de la vulnérabilité des sols au ruissellement suivie d'une discussion des analyses et de l'interprétation des résultats.

2. Matériels et Méthodes

2.1. Localisation géographique

Située sur les HTOC entre le 5°01'03.55" et 5°38'08.08" de latitude nord et, entre 9°45'44.57" et 10°21'12.95" de longitude Est, le bassin versant du Nkam draine une superficie d'environ 2 348 km² soit environ 19,4% de la superficie totale du bassin du

Wouri (11 700 km²). Ainsi, il draine les Départements de la Menoua et du Haut Nkam dans la Région de l'Ouest et le Mungo dans celle du littoral (Fig. 1). Sur le plan de la géomorphologie, il s'étend sur trois grands domaines géomorphologiques d'amont en aval. La partie amont du bassin, de 1 700 m à 2 681 m d'altitude, est celui du mont Bambouto qui est un massif volcanique aux pentes fortes (Déruelle et al., 1991). La partie centrale et orientale du bassin versant est une zone de plateaux et fait partie du plateau Bamiléké située entre 1 400 et 1 600 m d'altitude. La partie aval du bassin est une zone de plaine aux pentes faibles et au relief plat. Avec une altitude variant de 449 m à 2 681 m. Géologiquement, les trachytes et les basaltes sont les formations les plus répandues (Momoa et al., 2016). La lecture des données climatiques de la station de Dschang, indique une température moyenne annuelle de 20,4 °C. Mars est le mois le plus chaud avec 21,8 °C. Son régime pluviométrique est monomodal avec des pluies torrentielles d'août à octobre. Des intensités dépassant les 150 mm en 24

heures ont été observées (Nanfack, 2021) provoquant des crues violentes, ayant de répercussions directes, tant à l'amont par des pertes de terres arables (Djoukeng et al., 2015) qu'à l'aval par les inondations, les coulées de boue et les dépôts de sédiments (Nanfack et Julius, 2020). Le réseau hydrographique est particulièrement dense. Avec environ 620 800 habitants 3^e RGPH (2010) et une densité moyenne d'environ 264 hab/km², le bassin versant du Nkam reste très convoité. Les conditions écologiques particulièrement favorables au développement de l'agriculture expliquent que les noyaux de densités les plus élevées correspondent aux hautes terres volcaniques du bassin versant (Dongmo, 1981). Ces espaces sont de plus en plus exploités à des fins agricoles, minières ou encore urbaines. Cette anthropisation croissante s'accompagne d'une fragilisation des équilibres naturels caractérisée par une régression constante des espaces forestiers qui à son tour expose les sols à de vaste campagne d'érosion hydrique des sols.

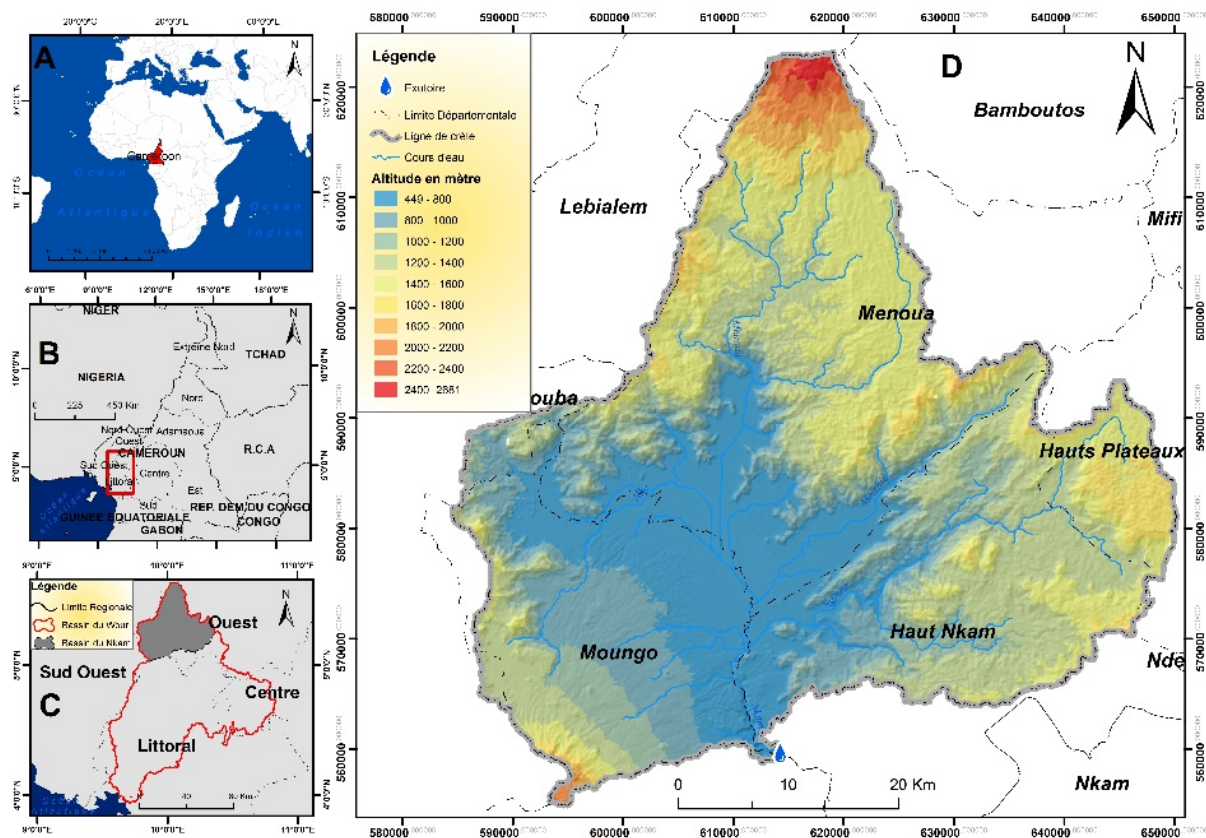


Figure 1 Localisation et présentation de la zone d'étude

2.2 Données et matériels

Le problème de ruissellement des eaux pluviales pose des dégâts économiques et écologiques et même sociaux dans le bassin versant du Nkam. La démarche appliquée dans cette étude pour cartographier les zones susceptibles au ruissellement a nécessité une compilation de données cartographiques (l'image radar SRTM, images satellite Landsat MSS, ETM+ et SPOT5 et la carte pédologique) de la zone étudiée. La collecte de ces informations a permis de structurer une Base de Données à Référence Spatiale. Les logiciels ArcGIS 10.2 et Envi 5.3 ont été utilisés pour le traitement des données.

2.3. Méthode

Pour élaborer la carte de susceptibilité des sols au ruissellement, la méthodologie développée par le Service de Conservation des Sols américain (SCS) qui se base sur les caractéristiques physiques, l'utilisation du sol, et les conditions hydrologiques des sols, a été mise à contribution. Selon cette méthode, les caractéristiques du bassin sont intégrées et quantifiées selon une échelle. Les numéros se retrouvant sur cette échelle sont appelés numéros de courbe et sont en relation avec la capacité d'infiltration (Smith et Eggert, 1978). La maxime sur laquelle elle repose postule que le ruissellement augmente proportionnellement à l'accroissement du numéro de courbe (CN). Cette méthodologie comprend les étapes suivantes présentées ci-dessous.

2.3.1 Classification des sols selon les grands groupes (A, B, C, D)

La méthode SCS stipule que les sols doivent être classifiés en fonction de leur capacité d'infiltration. Cette capacité étant inversement proportionnelle à la propension au ruissellement, cette classification permet de connaître le potentiel que présente chaque sol face au ruissellement (Gassman et al., 2007). Dans le cadre de ce travail, la carte pédologique du bassin versant du Nkam issue de la Cartothèque de l'IRD est utilisée. Quatre grandes classes de sol sont ainsi créées pour le bassin du Nkam en se basant principalement sur la texture. Les sols ferrallitiques qui bénéficient d'un bon drainage

interne forment la classe A; leur capacité d'infiltration est très élevée. Les sols riches en humus et les sols peu évolués noirs sur cendre présentent généralement un taux de percolation et d'infiltration moindre, ils se retrouvent en classe B. La classe C est constituée des sols moyennement organiques associés aux sables fins mal drainés, de sols limoneux et de sols perméables mais minces. Les sols hydromorphes constitués des argiles lourdes mal structurées et mal drainées se retrouvent en classe D.

2.3.2. Utilisation du sol

On note diverses utilisations des sols dans le bassin versant du Nkam. La propension au ruissellement augmente de la forêt aux surfaces artificialisées en passant par les surfaces agricoles. La classification est basée en bonne partie sur l'état de la couverture végétale. C'est dire que, les surfaces offrant une meilleure couverture au sol telles que les forêts présentent une tendance au ruissellement plus faible. Par exemple, un champ laissé en jachère contrairement à une surface forestière, présentera une couverture végétale peu dense et l'interception y sera peu importante ce qui ne favorise guère l'infiltration. A l'aide de l'image satellite SPOT5 de 2019, les différentes unités d'occupation du sol ont été réalisées pour le bassin versant du Nkam.

2.3.3. Importance de la pente

La pente joue également un rôle important dans la méthode SCS Curve Number pour l'évaluation du ruissellement. Cependant, cette méthode fut développée pour des pentes variant de 3 à 8 % (Tramblay, 2012) ; alors que la gamme rencontrée dans le bassin versant du Nkam est beaucoup plus étendue. Les sols de la plaine des Mbo ont en effet une pente bien inférieure à 3% et certains sols des zones montagneuses présentent des valeurs supérieures à 8%. Les sols à faible pente sont donc considérés comme des sols facilitant l'infiltration. Pour les sols ayant une pente supérieure à 8%, les pires conditions sont utilisées.

2.3.4. Conditions hydrauliques

Un autre critère s'ajoute aux précédents, celui de la condition hydrologique qui varie de pauvre à bonne. Cette condition qualifie l'état de la couverture

végétale pour une même utilisation du sol. Un couvert bien établi qui restreint le ruissellement sera associé à une bonne condition hydrologique. L'absence du couvert végétal pour les surfaces artificialisées et agricoles aura pour effet de détériorer la condition hydrologique.

L'utilisation du sol et la condition hydrologique font aussi le sujet de quelques hypothèses (Garen and Moore, 2005). La méthode SCS Curve Number définit des valeurs de CN pour un très grand nombre de cultures et autres utilisations du sol. La variation entre deux unités d'occupation du sol est bien souvent moindre que la variation due à la condition hydrologique. Comme l'évaluation de cette dernière est subjective, il devient alors peu significatif de

détailler l'utilisation au niveau de chaque unité d'occupation du sol. Des regroupements ont donc été faits : la forêt et la savane ont été réunies et sont traitées comme des surfaces boisées. Elles sont caractérisées par une bonne couverture végétale. Les terres cultivées et les terres laissées en jachère ont été réunies en surface agricoles. Le couvert végétal y est peu dense. Le bâti, les routes bitumées et les sols nus ont été regroupés en surfaces artificialisées. Elles sont caractérisées par une absence du couvert végétale. Le Tableau 1 résume les différentes valeurs de CN suite aux regroupements et hypothèses effectués. Ces valeurs sont extraites des résultats fournis par le Service de Conservation des Sols des USA et certaines interpolations ont été réalisées.

Tableau 1 Numéro de courbe (CN) pour les différentes combinaisons sol, utilisation du sol, pente et condition hydraulique

Utilisation du sol	Pentes (%)	Conditions hydrologiques	Classe de sol			
			A	B	C	D
Surfaces agricoles	<3%	Pauvre	63	74	81	82
		Bonne	60	70	78	81
	3-8%	Pauvre	65	76	84	88
		Bonne	63	75	83	87
	>8%	Pauvre	72	81	88	91
		Bonne	67	78	85	89
Végétation dense	<3%	Pauvre	25	55	70	77
		Bonne	22	53	65	74
	3-8%	Pauvre	41	63	75	81
		Bonne	25	55	70	77
	>8%	Pauvre	47	68	80	84
		Bonne	41	63	75	81
Surfaces artificialisées	Surfaces artificialisées denses		73	83	88	90
	Surfaces artificialisées peu denses		59	74	82	86

Source : Service de Conservation des Sols du ministère de l'Agriculture des États-Unis interpolé par les auteurs.

2.3.5. Évaluation de la superficie de chaque combinaison

L'évaluation de la superficie de chaque sous-groupe, soit chaque combinaison classe de sol et utilisation du sol constitue la cinquième étape ; les valeurs en relation avec l'utilisation du sol, la pente, les conditions hydrologiques et les types de sol ont été introduites dans un logiciel de SIG (ArcGIS version 10.2) pour l'évaluation de la superficie de chaque combinaison classe de sol et utilisation du sol. La dernière étape est celle de la compilation du coefficient de ruissellement (CN) pour tout le bassin versant du Nkam en calculant une moyenne

pondérée selon la superficie de chaque combinaison de sol (A, B, C et D) et d'utilisation du sol (boisée, agricole et artificialisée) suivant la relation ci-dessous:

$$CN_{moyen} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i CN_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (1)$$

où, CN moyen = coefficient de ruissellement moyen; i = un type et une couverture du sol (forêt, agricole, urbain); A_i = une surface de drainage correspondant à la surface occupée par i; CN_i = un coefficient de ruissellement CN correspondant à A_i

Le résumé de cette méthodologie est présenté à travers la Figure 2 ci-dessous.

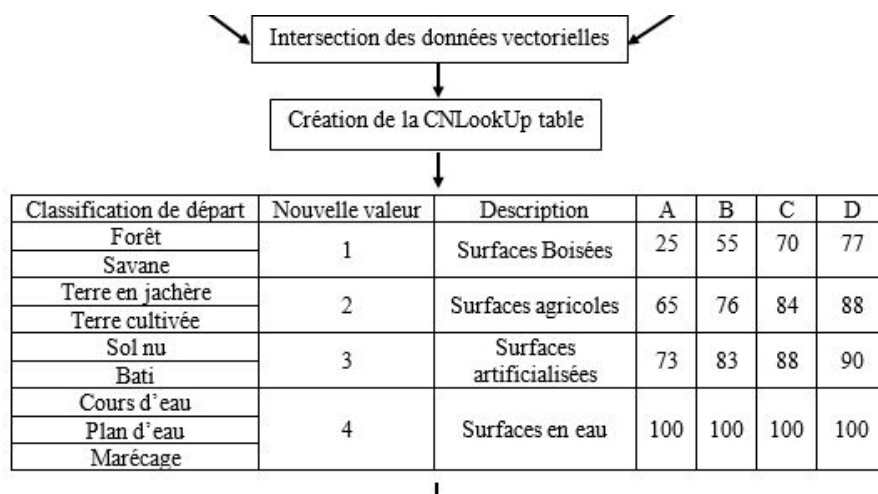


Figure 2 Méthodologie de réalisation de la carte de susceptibilité des sols au ruissellement

3. Résultats

3.1. Les facteurs de prédisposition des sols au ruissellement

3.1.1. Des sols aux minéraux facilement altérables

La donnée pédologique est une variable de contrôle du phénomène de ruissellement. Le bassin versant du

Nkam est constitué d'une mosaïque de sols liés à l'histoire géologique de la région des HTOC. Ils sont issus de basaltes, de terrains sableux et d'alluvions (Fig. 3). Les sols représentés sur cette Figure 3 peuvent être regroupés en quatre types de sol. Les sols peu évolués qui couvrent une faible superficie.

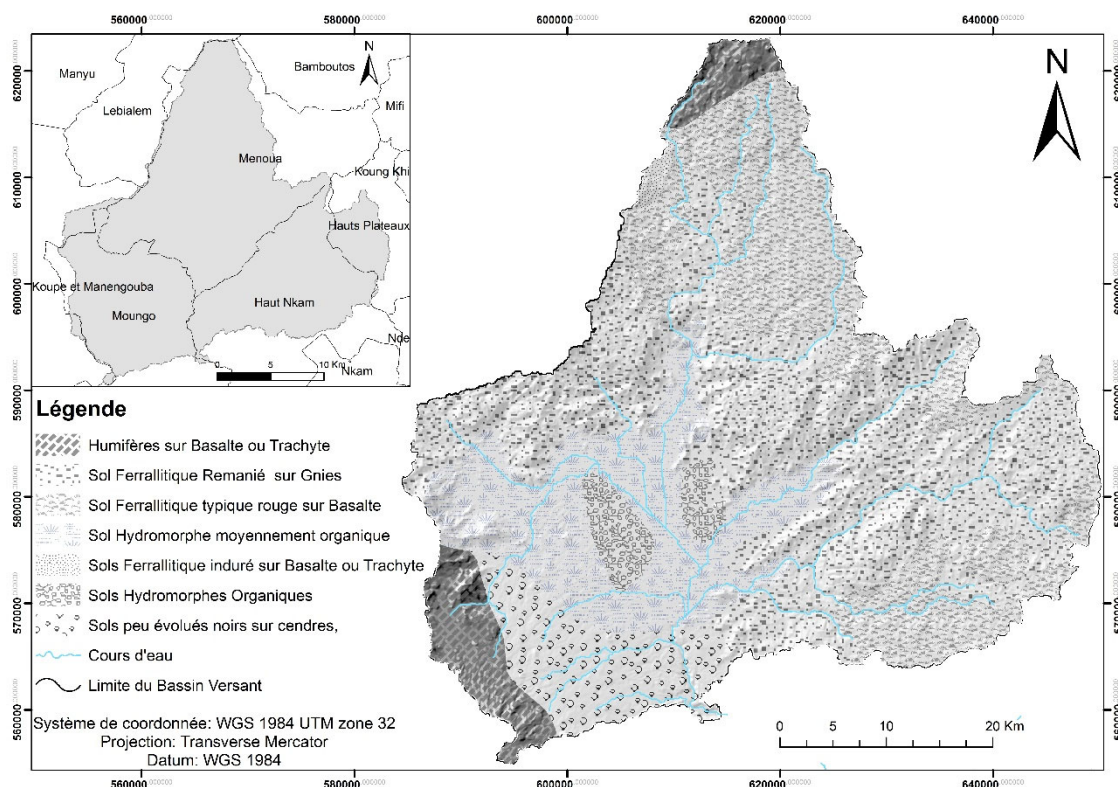


Figure 3 Pédologie du bassin versant du Nkam

Les profils sont peu épais et on trouve de nombreux blocs de basalte bulleux en surface et dans le profil. Ces sols sont désavantagés par leur faible profondeur. Les sols ferrallitiques sur basalte quant à eux sont particulièrement bien représentés à des altitudes supérieures à 700 m. Ces sols sont caractérisés par une texture très argileuse (70 à 80% d'argile) qui assure une bonne capacité de rétention d'eau et en même temps une perméabilité suffisante. Ces sols sont formés sur des roches volcaniques qui affleurent à mi-pente du Manengouba et du plateau bamiléké. Les sols humifères sur basalte ou trachyte y sont peu cultivés et se trouvent le plus souvent sous savane ou sous forêt hétérogène. Ils occupent de longues collines régulières. La plaine par contre est recouverte de couches alluvionnaires. Ces dépôts fertiles sont liés à la dynamique fluviale et au fonctionnement du Nkam, et sont à l'origine des activités anthropiques dominantes dans la plaine comme le maraîchage.

3.1.2. Une pente favorable aux ruissellement

Les conditions d'infiltration de l'eau dans les aquifères tiennent compte de la pente. C'est l'un des facteurs à l'origine du ruissellement. Elle influence le transfert et l'accumulation du ruissellement mais pas de la même manière. Les pentes fortes sont favorables au transfert rapide des eaux, tandis que les pentes faibles sont favorables à l'accumulation des dépôts charriés par les eaux de ruissellement. La distribution spatiale des pentes dans le bassin versant du Nkam est présentée à la Figure 4.

La pente influence directement le débit de pointe. C'est un élément déterminant dans l'orientation et l'organisation des cours d'eau. Cette Figure 4 a permis de mettre en évidence la variation de cette dernière dans le bassin du Nkam. Dans ce relief de montagne, environs 58% des terrains sont sur des pentes supérieures à 15% contre seulement 42% de terrain sur pentes inférieures 15%.

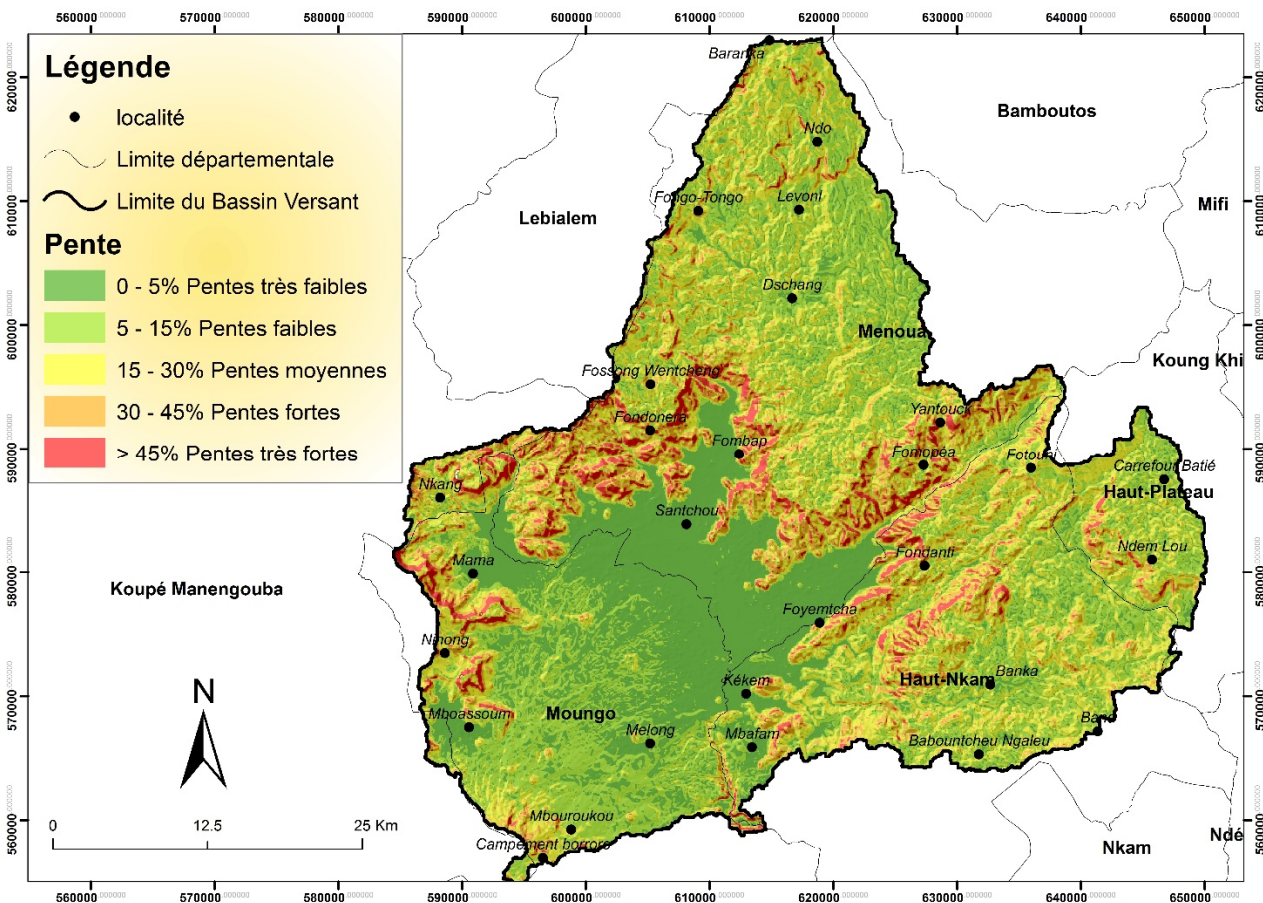


Figure 4 Carte des pentes du bassin versant du Nkam

La structure morphologique du bassin oblige souvent les affluents du Nkam à dévaler les fortes pentes et en même temps à stagner dans les zones à très faibles pentes (Plaine de Mbo) pour créer des inondations. La pente moyenne vaut 12,93% et l'indice de pente global, 5,36 m/km.

3.1.3 Une régression considérable des surfaces forestières

L'étude diachronique des unités d'occupation du sol est captivante dans ce travail, car elle révèle le niveau de sensibilité actuelle du bassin versant. La forte artificialisation des espaces, réalisée de manière anarchique, aggrave les conséquences des événements naturels et particulièrement, le ruissellement. Avec la cartographie du bassin du Nkam, l'analyse diachronique de l'occupation du sol de 1978 à 2015 a été réalisée suivant la méthode de comparaisons post-classificatoires. L'analyse spatiale a permis de mesurer les états successifs de l'occupation du sol et de décrypter les fluctuations

des éléments de cette occupation depuis 1978 (Fig. 5).

On peut admettre, à travers la Figure 5 que la forêt était l'unité d'occupation du sol la plus rependue dans le bassin en 1978. Jusqu'à cette date, l'étendue de forêt ne semblait pas avoir été sensiblement modifiée par les habitants qui étaient peu nombreux et qui vivaient en quelque sorte en harmonie avec les paysages naturels. Au cours des années 80, l'augmentation importante de la population¹ dans le bassin a entraîné une réduction des surfaces forestières. Cette régression n'a pas cessé de se poursuivre et de s'accroître pour atteindre un rythme de déforestation de -2,78% ; soit une perte considérable d'environ 20 km² de forêt par an pour la période 1978-2019. La Figure 6 présente cette régression spectaculaire des forêts au profit des surfaces artificialisées et agricoles en seulement 40 ans.

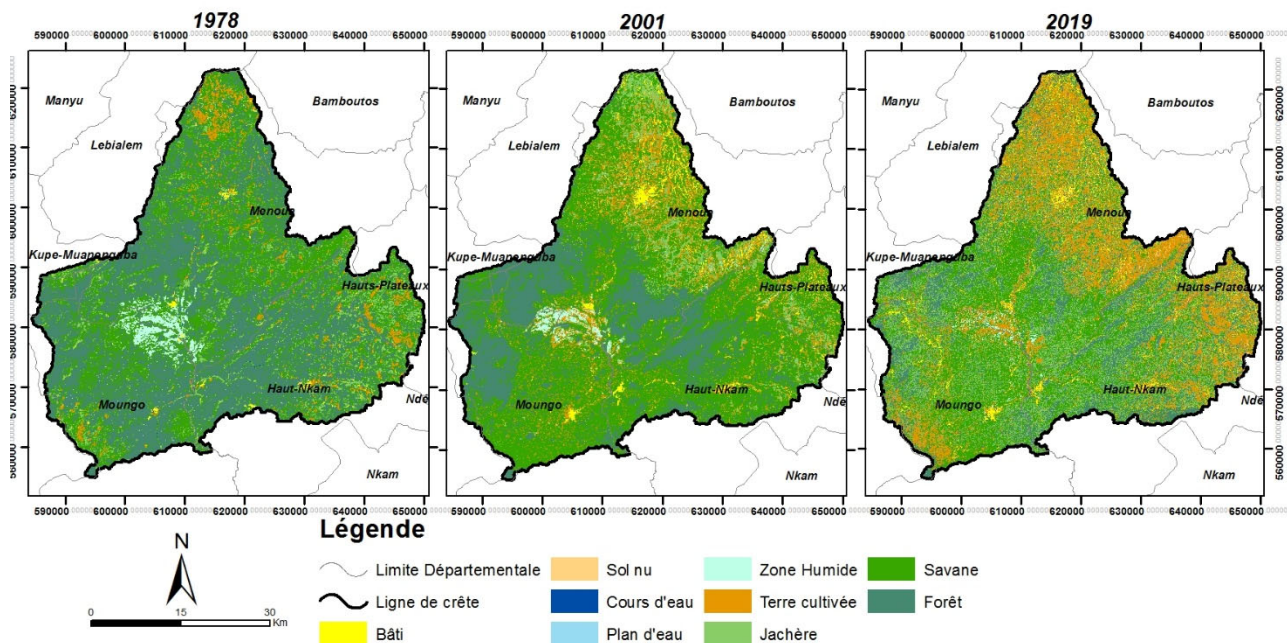


Figure 5 Evolution de l'occupation du sol dans le bassin versant du Nkam

L'intervention de l'homme en tant qu'agent de modification de l'environnement du bassin du Nkam est donc multiforme au regard de cette Figure 6. La dégradation des forêts par celui-ci entraîne de profondes perturbations dans le régime

hydrologique du bassin (torrentialité, inondation, envasement etc.) et expose les sols au ruissellement tout en conduisant à des conditions de topoinstabilité. Le départ de la forêt sur les versants occasionne l'arrivée massive des eaux dans la plaine.

¹ Source : 2ième RGPH en 1987

Ces eaux chargées de détrit, alimentent de façon brusque le réseau hydrographique qui subit des fluctuations suivant la fréquence des pluies en

engendrant les crues dont l'ampleur est fonction à la fois de l'intensité du ruissellement qui a eu lieu sur les pentes dénudées et du rythme des précipitations.

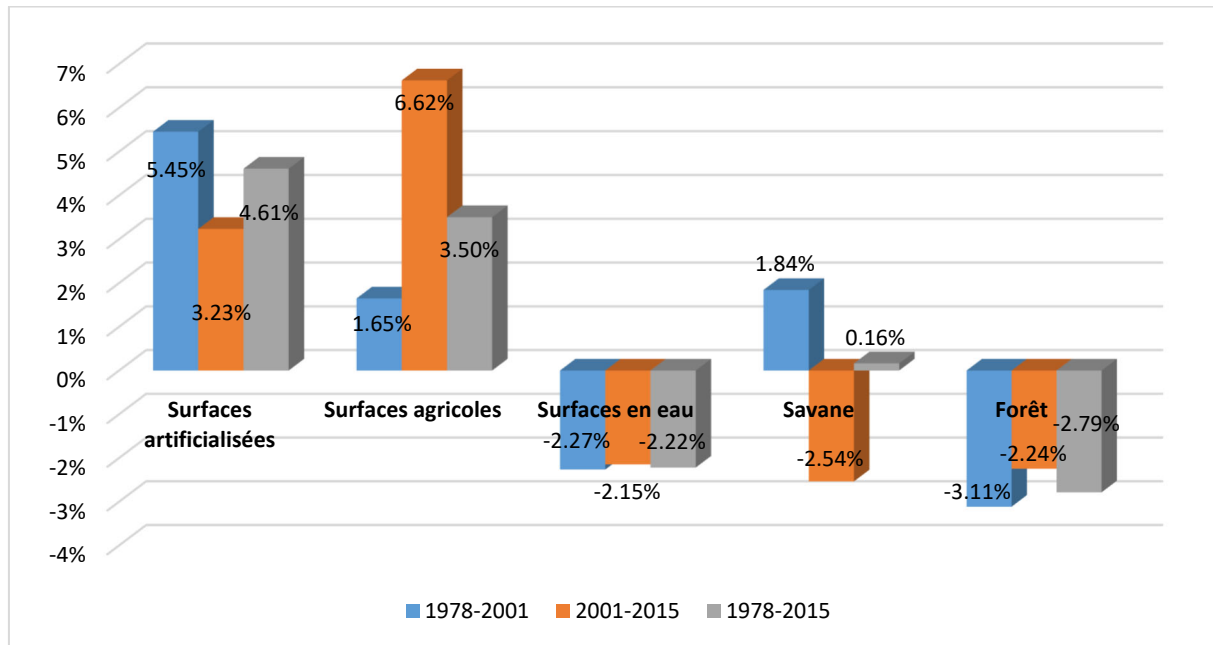


Figure 6 Variation des classes d'occupation du sol pour les différents pas de temps (1978-2001, 2001-2015 et 1978-2015)

3.2. Disparité spatiale de l'exposition des sols aux ruissellement

La susceptibilité des sols du bassin versant du Nkam au ruissellement a été réalisée grâce à la combinaison des facteurs ci-dessus présentés (Fig. 7). Le fait à constater sur cette carte est la variation des valeurs de CN trouvées.

Il apparaît une très grande variabilité des valeurs de CN dans le bassin étudié, traduisant ainsi la susceptibilité des sols au ruissellement. Les principaux facteurs contrôlant cette variabilité changent d'un site à l'autre : sur les sols de milieu naturel de l'escarpement de Foréké, c'est le degré de protection par le couvert végétal qui réduit le ruissellement (le CN varie de 25 à 64) ; sur les sols ferralitiques sur basalte à pente moyenne (plateau bamiléké), l'intensité du ruissellement dépend des pratiques culturales (culture avec labour et culture sans labour) ; sur les sols à fortes pentes mis en culture constamment (versant des monts Bambouto et Manengouba), c'est la situation du sol au cours du cycle cultural (déforestation et pratique régulière du labour qui ameublit les niveaux superficiels des sols)

qui est responsable des valeurs élevées de CN (> 82) ; sur les sols hydromorphes moyennement organiques de la plaine des Mbo, c'est la proximité de la nappe phréatique et la teneur en eau qui maintiennent les valeurs de CN élevées (> 82). En somme, l'hydrodynamisme des sols du bassin versant du Nkam dépend essentiellement de leur état de surface.

3.3. Un bassin versant susceptible au ruissellement dans son ensemble

L'application de la méthodologie décrite plus haut dans ses étapes 5 et 6 nous a permis d'estimer le coefficient de ruissellement du bassin versant. La superficie totale du bassin est de 2348,38 km², dont 204,86 km² est boisée sur sol A et possède un CN de 25. La pondération s'effectue en fonction de la superficie suivant la relation décrite à la dernière étape de la méthode. Le tableau 2 ci-dessous présente les résultats des combinaisons sol et utilisation du sol et le CN total du bassin. Il ressort de ce Tableau 2 que le CN moyen maximum est de 67 pour le bassin versant du Nkam. Avec cette valeur, l'infiltration commence à être faible, les ruissellements forts.

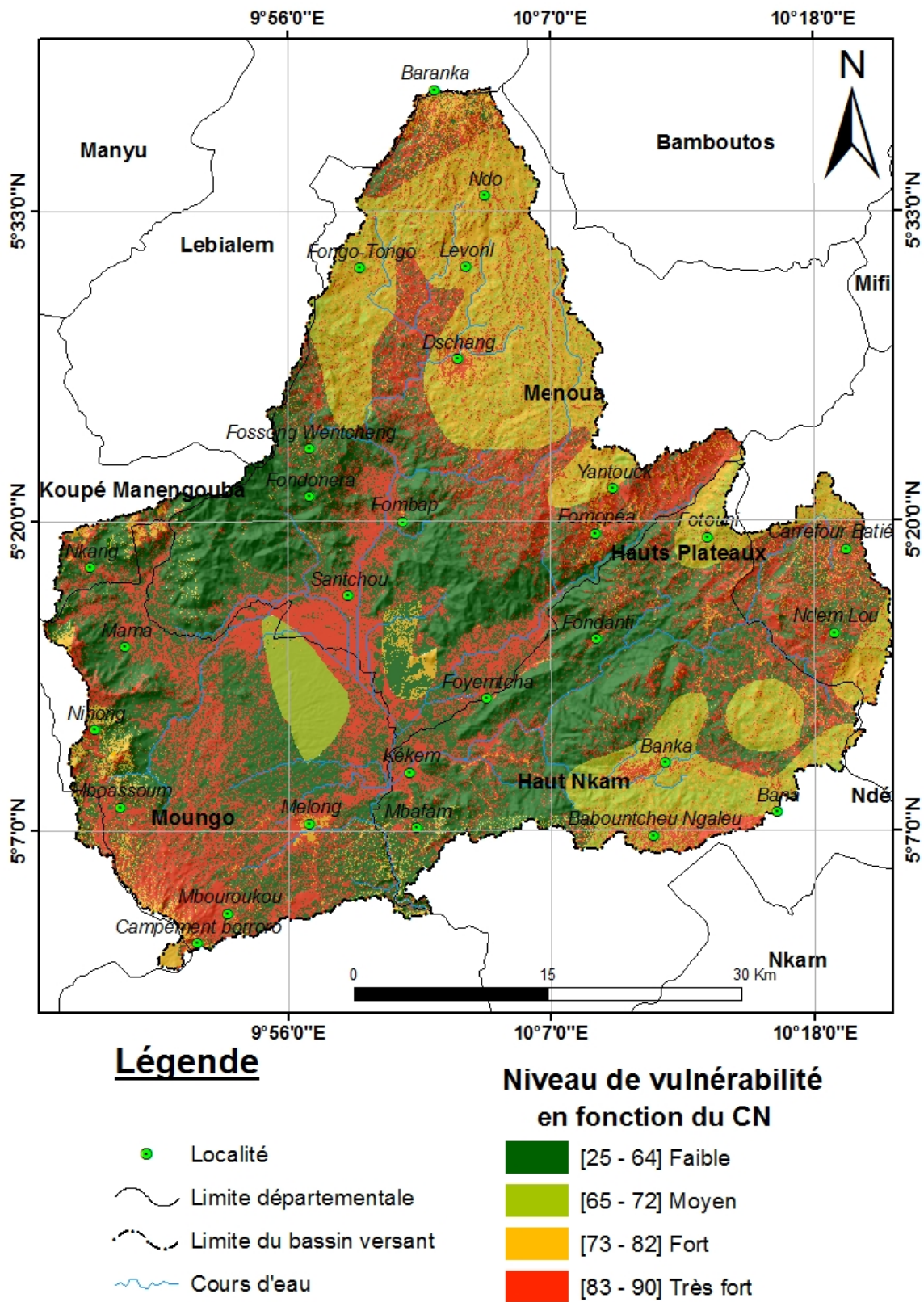


Figure 7 Image modélisée de la disparité spatiale de l'exposition des sols au ruissellement dans le bassin versant du Nkam, selon les combinaisons type de sol, utilisation du sol, pente et conditions hydrauliques

Table 2 Compilation du CN pour l'ensemble du bassin versant du Nkam

Combinaison surface boisée	Superficie km ²	Numéro de la courbe	Pondération
A	204,86	25	2,18
B	737,60	55	17,28
C	230,60	70	6,87
D	29,27	77	0,96
Total	1202,34		27,29
Combinaison surface agricole			
A	231,92	73	7,21
B	484,54	83	17,13
C	218,78	88	8,20
D	36,02	90	1,38
Total	971,44		33,92
Combinaison surface artificialisée			
A	60,92	65	1,69
B	97,66	76	3,16
C	15,85	84	0,57
D	0,17	88	0,01
Total	174,6		5,42
CN du Bassin versant du Nkam	2348.38		66,62 ≈ 67

Cette valeur du coefficient de ruissellement vient témoigner du recul des surfaces forestières au profil des surfaces agricoles et artificialisées. On peut constater à l'aide de la Figure 3 que les rapports conflictuels Homme-Environnement sont particulièrement marquant dans les milieux qui sont caractéristiques d'une fragilité naturelle, notamment la plaine des Mbo. Ces rapports sont à l'origine des inondations boueuses et l'envasement résultant de la formation de ruissellement érosif sur les parcelles agricoles situées en amont du bassin versant comme l'atteste la planche photographique 1.

Ces photos prises pendant les inondations du 04 août 2017 dans la plaine des Mbo (Echok et Santchou-ville) mettent en lumière les matériaux fluides et solides transportés par les eaux de ruissellement de l'amont vers l'aval.

4. Discussion

La méthode SCS Curve Number renseigne sur la capacité d'un bassin versant à ruisseler (Soulis et Valiantzas, 2012). Ce coefficient est fortement influencé par l'utilisation, le type et la pente des sols considérés. Les procédures d'analyse spatiale basées sur cette méthode pour l'appréhension de la formation du ruissellement de surface ont déjà fait

leur preuve à travers diverses études (Smith et Eggert, 1978; Hoang & Dumont, 1979; Yoo et al., 1993; Steenhuis et al., 1995; Bellall et al., 1996; Garen & Moore, 2005; Gassman et al., 2007; Trambalay, 2012; Anh Tu Ngo, 2014). Ainsi, l'application de cette méthode dans le bassin versant du Nkam nous a permis de distinguer trois zones donc deux à susceptibilité élevée et une à susceptibilité faible. Ceci peut s'expliquer de diverses façons :

Le bassin juxtapose les basses (plaine des Mbo), moyennes (plateaux bamiléké) et hautes terres (monts Bambouto et Manengouba) à forte activité agraire. La pente du terrain est beaucoup plus prononcée sur ces deux dernières unités topographiques. Les pratiques agricoles observées sur ces unités topographiques homogénéisent le paysage et peut aboutir à l'apparition de vastes surfaces ruisselantes. La disparition du couvert végétale notamment sur les versants des monts Bambouto et Manengouba et autour des zones urbanisées, réduit les possibilités d'infiltration des eaux de pluie et facilite ainsi le transfert des eaux vers l'aval (ruissellement hortonien). En effet, en l'absence de toutes végétation, les filets d'eau sillonnent les parcelles labourées et enlèvent dans leur progression les éléments fins de surface, provoquant ainsi un

déblayage des sols. Les produits ainsi arrachés s'entassent en aval du bassin versants (plaine des Mbo) où la monotonie du relief limite l'écoulement des eaux entraînant par conséquent les inondations boueuses comme celles du 26 août 1978 (Tchoua 1984,1989) et tout récemment celle du 4 août 2017 à Echok par Santchou (Figure 8). Nos résultats

concordent avec ceux de Fonteh et al., (1998) qui, travaillant sur la culture des petits pois (*Pisium sativum* L.) dans les H.T.O.C, ont trouvé que pour une variation de pente de 0,89 à 2,69 % l'érosion augmenterait de 34 fois par rapport à la première pente.



Figure 8 Conséquences du ruissellement des eaux de pluie en aval du bassin versant (Plaine des Mbo)

En outre, la plaine des Mbo, de par son hydromorphie et la proximité de la nappe phréatique, les précipitations tombent sur une surface déjà saturée et ne peuvent que ruisseler. Ce ruissellement est fortement influencé par le cumul des précipitations qui provoque un gonflement progressif des nappes, ce qui sature d'autant plus rapidement le profil par le bas. On parle à cet effet de ruissellement sur sol saturé qui selon Ambroise (2004) est un phénomène efficace dans la génération des crues. Les secteurs ainsi saturés accompagnent fréquemment les cours d'eau, et le ruissellement ainsi généré contribue directement à l'écoulement de crue. C'est l'ensemble des raisons évoquées qui

laisserait indiquer des valeurs de CN beaucoup plus élevées dans certaines parties du bassin.

Cependant, le pourcentage boisé est généralement plus dominant sur certains sols en pente. Ces sols en pente sont communément moins sollicités pour l'agriculture en raison de la mécanisation difficile. Il est donc normal de constater une utilisation moins intensive du sol le long de l'escarpement de Foréké. L'effet d'une pente plus accentuée est donc compensé en bonne partie par une utilisation moindre du sol, ce qui explique le peu de variation des valeurs de CN aux alentours de la plaine Mbo. Les travaux d'Armand (2009), sur l'étude des états de surface du sol et de leur dynamique,

montrent que le couvert végétal retient, selon sa densité, sa nature et l'importance de la précipitation, une proportion variable de l'eau atmosphérique.

Toutefois, si certaines études menées sur le phénomène d'érosion dans les H.T.O.C. sont essentiellement descriptives (Tchawa, 1991, 1993; Fotsing, 1993 ; Tsayem Demaze, 1995), cet article va au-delà de cette description en évaluant le degré de sensibilité des sols du bassin versant au ruissellement. L'originalité de ce travail repose sur le fait, qu'outre la description, elle définit un espace différencier du risque d'érosion par ruissellement pour le bassin versant du Nkam à partir de la méthode SCS CN.

5. Conclusion

En somme, cette étude portait sur les sols dans le bassin versant du Nkam. L'objectif était d'évaluer à l'aide de la méthode SCS couplée au SIG la susceptibilité des sols au ruissellement dans cet espace intramontagnard. Au terme de ce travail, nous pouvons conclure sur la base des résultats obtenus que le bassin versant du Nkam a atteint un seuil inquiétant d'exposition des sols au ruissellement (CN=67). Cette situation est due au poids qu'exerce la régression du couvert végétal sur des sols pentus à fort usage agricole. En effet, il a été constaté une régression importante du couvert végétal en amont du bassin versant au profil des activités agropastorales, où le labour est couramment pratiqué. Environ 58% de la zone étudiée concerne les pentes fortes (> 15%) avec des sols constitués de minéraux d'un degré d'altérabilité assez élevé. On assiste à cet effet en saison des pluies au phénomène d'érosion par ruissellement responsable du lessivage des sols en amont qui conduit à l'envasement et aux inondations boueuses en aval. Tous ces facteurs mis ensemble résument l'état actuel des sols du bassin versant du Nkam et par conséquent leur susceptibilité au ruissellement. À l'issue de cette étude, Il faudrait éviter d'attendre jusqu'au niveau où la remédiation nécessiterait des mesures curatives. Il est donc nécessaire voire primordial d'encourager les mesures correctives et préventives. Cet article approfondit ainsi la contribution de la géographie des risques sur la prise des décisions. L'étude de la susceptibilité des sols au ruissellement en milieu

tropical de montagne est un prisme à travers lequel, les problèmes liés au contexte de risques environnementaux sont mis en relief dans le but d'indiquer des pistes de solution pouvant réduire l'exposition des sols au ruissellement surtout dans les espaces tropicaux intramontagnards. La réduction de l'incidence du ruissellement peut donc se faire par l'introduction du reboisement des terrains caractérisés d'une nudité exceptionnelle et la pratique des techniques de culture sans labour et la construction des billons dans le sens des courbes de niveau sur les versants de colline. C'est dans cette perspective que nous invitons les instances nationales en charge des questions environnementales (MINEPDED), forestières (MINFOP) et agricoles (MINADER) et les populations locales pour une insistance dans le cadre des ODD (Objectifs du Développement Durable), notamment sur la préservation et la restauration des écosystèmes terrestres. La carte de susceptibilité des sols au ruissellement ainsi réalisée, peut cependant être un instrument de base à la prospection de cet espace géographique pour une meilleure affectation d'utilisation du sol.

Références bibliographiques

- 3^e RGPH 2010. La population du Cameroun en 2010, 3^e Recensement Général de la Population et de l'Habitat, 10 p. <http://www.bucrep.cm/index.php/fr/ressources-et-documentations/telechargement/category/20-presentation-des-rsultats?download=18:population-du-cameroun-en-2010>. Consulté le 16 décembre 2021
- Ambroise B. 2004. "Variable active" versus "contributive" areas or periods: a necessary distinction." *Hydrological Processes*, **18**(6): 1149–1155. DOI: 10.1002/hyp.5536
- Anh Tu Ngo. 2014. *Évaluation environnementale du risque d'inondation dans le delta du fleuve Ha Thanh (centre Viêt-Nam)*, Géographie, Université d'Orléans, Thèse de doctorat, 429 p, <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01004411>. Consulté le 06 janvier 2017
- Armand R. 2009. *Étude des états de surface du sol et de leur dynamique pour différentes pratiques de travail du sol, mise au point d'un indicateur de ruissellement*, Thèse de Doctorat d'état, Université de Strasbourg, 208 p.
- Bellall M, Sillen X, Zeck Y. 1996. Coupling GIS with a distributed hydrological model for studying the effect of various urban planning options on rainfall-runoff

- relationship in urbanized watersheds. *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management* (Proceedings of the Vienna Conference, April 1996). IAHS Publ. n°235, 8 p.
- Déruelle B, Moreau C, Nkoubou C, Kambou R, Lissom J, Njonfang E, Ghogomu RT, Nono A. 1991. The Cameroon Line: a review. In: Kampunzu AB, Lubala RT (eds.), *Magmatism in Extensional Structural Settings the Phanerozoic African Plate*, Berlin, Springer, 274–327. DOI: 10.1007/978-3-642-73966-8_12
- Djoukeng HG, Tankou CM, Degré A. 2015. Siltation and Pollution of Rivers in the Western Highlands of Cameroon: a Consequence of Farmland Erosion and Runoff. *International Journal of Agricultural Research and Review* **3**(3): 206–212. DOI: 10.13031/wtcw.2014-012
- Dongmo JL. 1981. *Le dynamisme bamiléké (Cameroun). Vol. 1 La maîtrise de l'espace agraire*. Centre d'édition et de production pour l'enseignement et la recherche, Yaoundé. p.
- El Hage Hassan H, Touchart L, Faour G. 2013. La sensibilité potentielle du sol à l'érosion hydrique dans l'ouest de la Bekaa au Liban. *M@ppemonde* **109**(1): 1–17.
- Fonteh MF, Boukong A, Tankou CM. 1998. *Soil and water management of dry season green peas (Pisium sativum) production in the western highland o Cameroon*. Final research project submitted to the PDEA (Douala) and the European Union (Yaoundé) Cameroon, 53p.
- Fotsing JM. 1993. Érosion des terres cultivées et propositions de gestion conservatoire des sols en pays Bamiléké (Ouest-Cameroun). *Cah. Orstom, sér. Pédol.* **28**(2): 351–366.
- Garen DC, Moore DS. 2005. Curve number hydrology in water quality modeling: uses, abuses, and future directions. *J. Am. Water Resour. Assoc.* **41**(2): 377–388. DOI: 10.1111/j.1752-1688.2005.tb03742.x
- Gassman PW, Reyes MR, Green CH, Arnold JG. 2007. The soil and water assessment tool: historical development, applications, and future research directions. *Transactions of the ASABE* **50**(4): 1211–1250. DOI: 10.13031/2013.23637
- Hoang V, Dumont R. 1979. *Étude du comportement hydrologique des bassins versants du réseau de crue et d'étiage*. Ministère des Richesses naturelles Québec, (rapport interne).
- Kacem L, Igmoullan B, Mokhtari S, Amar H, Agoussine M. 2014. Morphometric characterization of upstream mountainous watershed using geographic information system GIS: high valley of Tifnoute High Moroccan Atlas. *Journal of Biodiversity and Environmental Sciences* **5**: 62–66.
- Kacem L, Agoussine M, Igmoullan B, Amar H, Mokhtari S, Brahim Y. 2017. Application de la méthode d'analyse multicritère hiérarchique pour la quantification de perte en sol dans un sous-bassin montagnard –haute vallée de Tifnoute (Haut Atlas marocain). *Geo-Eco-Trop.* **41**(3): 493–502.
- Kaffo C. 2005. Cultures maraîchères dans les montagnes du Cameroun occidental. *Cahiers Agricultures* **14**(6): 517–524.
- Kaffo C, Fongang G. 2009. Les enjeux agricoles et sociétaux de l'eau sur les monts Bamboutos (Cameroun). *Cahiers Agricultures* **18**: 17–25.
- Lounang Tchatchouang FC, Djamfa RC, Youta Happi J, Tchawa P, Grozavu A. 2014. Expansion des cultures de contre-saison, changements d'utilisation du sol et les implications environnementales dans les paysanneries de l'ouest-Cameroun. *Scientific Annals of "Al. I. Cuza" University of Iasi* **LX**(2): 41–57. DOI: 10.15551/scigeo.v60i2.316
- Momoa MN, Yemefack M, Tematio P, Beauvais A, Ambrosi J-P. 2016. Distribution of duricrusted bauxites and laterites on the Bamiléké plateau (West Cameroon): Constraints from GIS mapping and geochemistry. *Catena* **140**: 15–23. DOI: 10.1016/j.catena.2016.01.010
- Nanfack G. 2021. *Gestion du risque d'inondation dans le bassin versant du Nkam: analyse de l'aléa et la vulnérabilité*, Thèse de Doctorat, Université de Dschang, 394 p.
- Nanfack G, Julius Tata N. 2020. Cartographie de susceptibilité au glissement de terrain dans le bassin versant de la Menoua (Ouest-Cameroun) au moyen de l'Analyse Multicritère Hiérarchique. *Revue Internationale de géomatique, Aménagement et Gestion des Ressources* **7**(8): 59–73.
- Ngoufo R. 1992. The Bamboutos Mountains: Environmental and rural land use in West Cameroon. *Mountain Research and Development* **12**(4): 349–356. DOI: 10.2307/3673685
- Ngoufo R, Tsalefac M, Kuété M. 2001. Les monts Bamboutos (Sud-Ouest du Cameroun) face à la déprise caféière: les enjeux socio-économiques d'une montagne tropicale humide. *Espaces Tropicaux*, **12**(160): 519–530.
- Pimentel D. 2006. Soil erosion: a food and environmental threat. *Environment, development and sustainability* **5**(8): 119–137. DOI: 10.1007/s10668-005-1262-8
- Sadiki A, Bouhlassa S, Auajjar J, Faleh A, Macaire JJ. 2004. Utilisation d'un SIG pour l'évaluation et la cartographie des risques d'érosion par l'Equation universelle des pertes en sol dans le Rif oriental (Maroc): cas du bassin versant de l'oued Boussouab. *Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, section Sciences de la Terre* **26**: 69–79.

- Smith RE, Eggert KG. 1978. Infiltration formula based on SCS curve number. *J. Irrig. Drain. Div.* **104**(4): 462–464. DOI: 10.1061/JRCEA4.0001231
- Soulis KX, Valiantzas JD. 2012. SCS–CN parameter determination using rainfall–runoff data in heterogeneous watersheds – the two–CN system approach. *Hydrol. Earth Syst. Sci* **16**(8): 1001–1015. DOI: 10.5194/hess-16-1001-2012
- Steenhuis TS, Winchell M, Rossing J, Zollweg JA, Walter MF. 1995. SCS Runoff equation revisited for variable–source runoff areas. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* **121**(3): 234–238. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1995)121:3(234)
- Tchawa P. 1991. Dynamique des paysages sur la retombée méridionale des hautes terres de l’Ouest Cameroun, Thèse de Doctorat, Université de Bordeaux III, 412 p.
- Tchawa P. 1993. La dégradation des sols dans le Bamileké méridional, conditions naturelles et facteurs anthropiques. *Cahiers d’Outre–Mer* **46**(181): 75–100.
- Tchoua FM. 1984. Les coulées boueuses de Dschang (Août 1978). *Rev. Géogr. Cam.*, **6**(2): 25–33.
- Tchoua FM. 1989. Les matériaux des coulées boueuses de Dschang (Août 1978). *Rev. Géogr. Cam.*, **8**(1): 58–64.
- Tramblay Y. 2012. Modélisation des crues dans le bassin du barrage Makhazine, Maroc. Institut de Recherche pour le Développement Hydrosociétés–Montpellier, France, 34 p.
- Tsayem Demaze M. 1995. Milieu physique, environnement humain et dégradation des sols en pays Bamileké de l’Ouest du Cameroun. In: G De Noni, E Roose, JF Nouvelot, Y Veyret (eds.), *Environnement humain de l’érosion*. Réseau Erosion – Bulletin (15): 329–339.
- Yoo KH, Yoon KS, Soileau JM. 1993. Runoff curve numbers determined by three methods under conventional and conservation tillage. *Trans. ASAE* **36**(1): 57–63. DOI: 10.13031/2013.28314