
Cartographie du potentiel de bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères dans le Bassin versant de la Menoua (Cameroun)

Tangmouo Tsoata Francis¹, Mache Foukou Suzanne Nadia³, Mbianda Nfong-Ya Orlin Lesley², Windzi Foka Sylvienne Ladye³

⁽¹⁾Université de Dschang. Faculté des lettres et sciences humaines. Laboratoire de Géomatique. B.P.96 Dschang (Cameroun). E-mail : tsoatafrancis@gmail.com; francis.tsoata@univ-dschang.org

⁽²⁾Université de Dschang. Faculté des sciences. Laboratoire de Géologie de l'environnement. B.P. 96 Dschang (Cameroun).

⁽³⁾Université de Dschang. Faculté des lettres et sciences humaines. Centre de Recherches sur les Hautes Terres. B.P. 96 Dschang (Cameroun).

Reçu le 10 novembre 2024, accepté le 14 mars 2025, publié en ligne le 29 mars 2025

DOI : <https://dx.doi.org/10.4314/rafea.v8i1.15>

RESUME

Description du sujet. La croissance urbaine entraîne un capital humain plus important à nourrir ainsi que la régression et la pollution des espaces agricoles de bas-fonds à la périphérie des villes. Le besoin de localisation de ces espaces fait suite à une volonté de renforcer la filière maraîchère, d'assurer l'approvisionnement urbain tout au long de l'année et d'anticiper sur l'urbanisation et ses conséquences.

Objectif. Cette contribution vise une cartographie des bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères dans le Bassin versant de la Menoua au Cameroun.

Méthodes. Une approche par télédétection et SIG combinant les données d'utilisation du sol Sentinel 2B et de morphologie du sol Alos World 3D a été utilisée.

Résultats. L'application a permis d'obtenir une carte de bas-fonds distinguant trois classes : la classe des surfaces très favorables et favorables avec 3355 ha pour 1342 bas-fonds contre 232 ha pour 55 bas-fonds déconseillés. La fiabilité obtenue à partir de la superposition de 189 bas-fonds connus sur la carte produite est de 95,77 %.

Conclusion. Les bas-fonds sont certes des zones naturellement propices au développement des cultures maraîchères. Toutefois, le développement de cette filière doit tenir compte du respect du milieu dans lequel elle prend forme, car les bas-fonds renferment de nombreux services écosystémiques nécessaires à la préservation de la vie sur terre.

Mots-clés : cartographie, télédétection, bas-fond, culture maraîchère, bassin versant, Menoua/Cameroun

ABSTRACT

Mapping of lowlands potential conducive for market gardening development in the Menoua watershed (Cameroun)

Description of the subject. Urban growth leads to a greater human capital to be nourished as well as the regression and pollution of agricultural areas of lowlands on the outskirts of towns. The need to locate these spaces follows a desire to strengthen the market gardening sector, ensure supply to cities throughout the year and to anticipate the growth of cities and its consequences.

Objective. The present study consisted of a mapping of lowlands favorable to the development of market gardening in the Menoua watershed.

Methods. A remote sensing and GIS approach combining Sentinel 2B land use data and Alos World 3D soil morphology has been used.

Results. The application made it possible to obtain a lowland map distinguishing 03 classes: the class of very favorable and favorable surfaces with 3355ha for 1342 lowlands against 232ha for 55 unsuitable lowlands. The reliability obtained from the superposition of 189 true shallows on the produced map is 95.77%.

Conclusion. Lowlands are naturally suitable for the development of market gardening. However, the development of this sector must consider respect for the environment in which it takes shape, as lowlands also contain numerous ecosystem services.

Keywords: cartography, remote sensing, lowland, market gardening, watershed, Menoua/Cameroon

1. INTRODUCTION

Selon l'ONU (2020), la Terre héberge depuis janvier 2019 entre 7,6 et 7,7 milliards de personnes et devrait atteindre les 9,7 milliards en 2050. Les croissances les plus rapides sont signalées dans les pays en développement principalement situés en Afrique et en Asie du sud (ONU, 2019; Bernstein *et al.*, 2019) ; et le Cameroun est fortement touché par cette croissance démographique. Selon le BUCREP (2010), en 2005, six (6) villes dépassaient le seuil de 200 000 habitants, mais depuis 2015, plus de seize (16) villes ont une population de plus de 200 000 habitants (INS, 2015). Cette croissance rapide s'accompagne d'une pression sur les ressources et d'une demande de plus en plus importante en produits agricoles maraîchers. Pour Autissier (1994), un million d'habitants dans une ville avec un taux de croissance démographique de 7 % par an, crée une demande supplémentaire en produits maraîchers nécessitant la mise en culture de 50 à 100 ha de surface agricole annuellement.

Au fil des ans, les espaces agricoles à la périphérie des villes régressent considérablement du fait de l'étalement urbain et ceux qui y résistent subissent la pollution due à la proximité des activités humaines, d'où la conquête de nouveaux espaces agricoles ; c'est ainsi qu'à Dschang, on observe de nombreux bas-fonds qui étaient autrefois des bassins maraîchers mais qui, aujourd'hui, sont occupés par le bâti (Temgoua *et al.*, 2015). Le développement des cultures maraîchères dans cette région s'est considérablement accentué avec la crise caféière et économique des années 1980 (Morin, 1982; Kaffo & Fongang, 2009; Tchékoté *et al.*, 2018), la demande urbaine forte en produits maraîchers (IRAM, 2017) et la création de l'Université de Dschang en 1993. Dans ce contexte marqué par une croissance démographique forte, un besoin en produits maraîchers importants et la pollution des sols agricoles périurbains, la localisation des terres de bas-fonds propices aux cultures maraîchères constitue une étape intermédiaire à l'élaboration des plans de gestion agricole et de sécurisation dans le Bassin versant de la Menoua.

Les données de télédétection sont largement employées depuis ces dernières décennies pour les études de planification d'utilisation des sols. Grâce à ces données, il est possible d'effectuer des croisements successifs de cartes thématiques pour la localisation, l'évaluation et le suivi des faits et des phénomènes terrestres. Cette étude vise la cartographie des bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères dans le Bassin versant de la Menoua au Cameroun. Spécifiquement, cette contribution cherche à montrer les potentialités des données d'accès gratuit pour la cartographie des zones propices au développement des cultures maraîchères et la préservation des terres agricoles contre l'étalement urbain. Ces études sont profitables aux pays en développement où le financement dédié à ce type de cartographie est très souvent absent ou insuffisant du budget des communes.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1. Zone d'étude

Le BV de la Menoua est situé sur le versant sud du mont bambouto dans la région de l'Ouest-Cameroun. Il couvre une superficie d'environ 642 km². Le climat est de type tropical humide, caractérisé par une courte saison sèche (4 mois) et une longue saison pluvieuse. Les précipitations annuelles atteignent 1900 mm et la température moyenne est de 21 °C. L'altimétrie varie de 200 à 2000 m avec une succession de petites vallées propices à l'agriculture. L'agriculture est encore manuelle, mais la production est intensive du fait de la rareté foncière et elle vise à assurer l'autosuffisance alimentaire et la commercialisation sur les marchés locaux et (inter)nationaux. À la suite de la chute des coûts mondiaux du café dans les années 1980 et de la création de l'université de Dschang en 1993, les agriculteurs se sont tournés vers de nouvelles spéculations, notamment les cultures maraîchères dont la demande est permanente pendant toute l'année et progressive au fil des années.

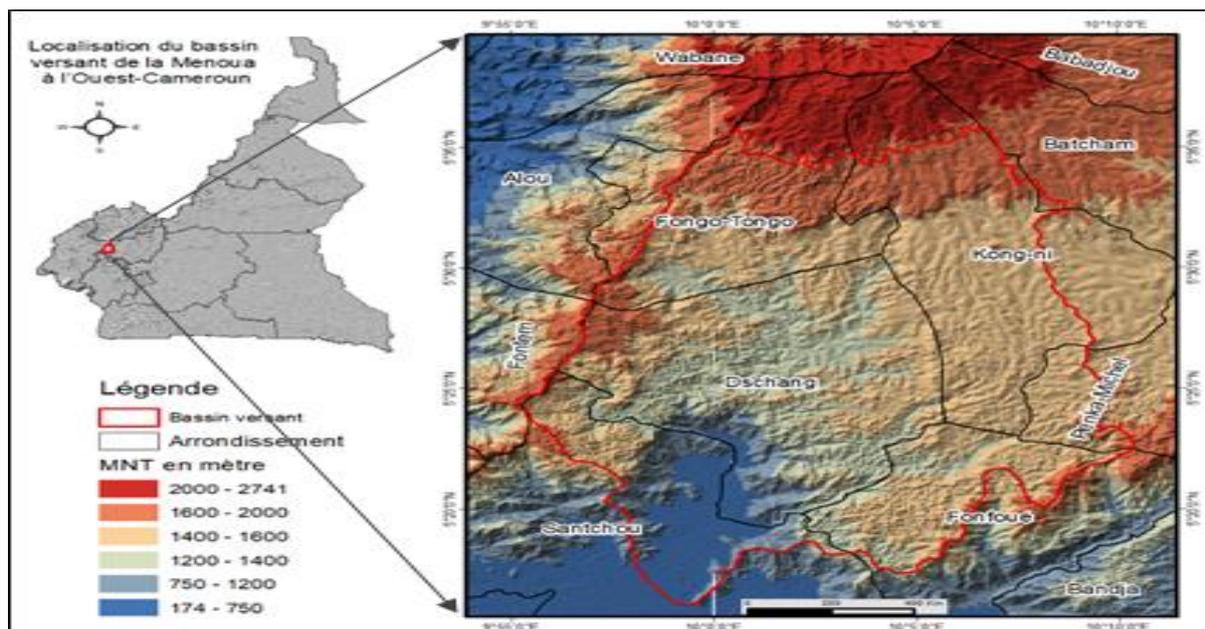


Figure 1. Localisation du Bassin versant de la Menoua

2.2. Méthodes

L'essentiel des données de base a été obtenu sur les sites web libres d'accès, auprès de l'Institut National de la Cartographie (INC) et par la collecte sur le terrain. A partir de ces données, les opérations de traitements secondaires et tertiaires dans les logiciels de télédétection et SIG ont permis d'avoir les variables nécessaires à l'application du modèle de cartographie proposé à la

Figure 2.

Tableau 2. Données et utilités

Données	Caractéristique	Lieu/Site	Utilité
Modèle numérique de terrain	ALOS World 3D - 30m, version 3.1	ALOS Global Digital Surface Model	Extraction de la pente, du réseau de drainage, de l'indice d'humidité topographique...
Sentinel 2B	Résolution spatiale (10,	Earth explorer	Occupation du sol, calcul du

	20 et 60m), 13 bandes, 10/2019		MNDWI et du NDWI...
Fond pédologique	1/5 000 000	INC	Analyse de la situation pédologique des sols
Point de vérité terrain	Collecte GPS (3m), mai 2020	Terrain	Vérification de la carte produite

L'inventaire des bas-fonds propices pour l'agriculture a été généralement fait par des observations et des relevés de terrain. Cette technique, malgré son efficacité et sa fiabilité, s'avère pénible et nécessite beaucoup de temps, de main-d'œuvre, des coûts énormes et s'applique à des surfaces très réduites. Actuellement, le besoin d'inventaire rapide nécessite l'emploi des méthodes et des outils plus adaptés, applicables à des milliers d'hectares. De nombreuses études proposent des approches par télédétection et SIG pour l'évaluation des bas-fonds aménageables pour le maraîchage en zones tropicales. On peut citer les études de Chabi *et al.* (2010), de Kafilatou *et al.* (2016), de Souberou *et al.* (2017) et de Feyissa *et al.* (2019) traitant de la cartographie des bas-fonds en milieu tropical. Dans certaines études, on remarque la prise en compte de la variable exposition des versants au soleil, pourtant les pays en zones tropicales sont situés à la verticale par rapport au soleil. On remarque également la globalisation des bas-fonds sans une séparation avec les surfaces d'eau libre ; or la considération des surfaces d'eau libre comme aménageables pour le maraîchage constitue un risque important pour l'environnement (Klimas, 1996; MEA, 2005; Bobbink *et al.*, 2006). La plupart des études ont limité les bas-fonds aménageables à une pente entre 3 et 5 %, or les techniques culturales et la rareté foncière dans le Bassin versant de la Menoua permettent de valoriser également les bas-fonds à pente entre 5 et 10 % (Tchawa, 1997). La présente étude apporte une plus-value par l'intégration de l'indice modifié des surfaces d'eau libre, permettant de séparer les surfaces d'eau libre des autres surfaces humides.

Pour une meilleure cartographie des bas-fonds aménageables pour l'agriculture, l'étude s'appuie sur la définition des conditions de développement du maraîchage en général en zone tropicale humide et en particulier dans le Bassin versant de la Menoua. Les variables étudiées sont la pente, l'hydrologie, l'indice d'humidité topographique et les indices d'utilisation du sol (le MNDWI et le NDVI). Le choix porté sur ces variables est non seulement dû à leur importance dans l'aménagement des zones maraîchères, mais aussi à leur possibilité d'obtention facile et gratuite et d'intégration dans un SIG. Le processus de cartographie s'articule autour des étapes suivantes : (01) Approche théorique : cartographie des bas-fonds. Cette étape permet de mettre en évidence la présence globale des bas-fonds dans le BV de la Menoua, tout en séparant les surfaces d'eau libre et les zones humides. Pour ce faire, l'analyse consiste en un croisement successif des données dérivées de la morphologie des sols et d'utilisation des sols. Un premier croisement est effectué entre le réseau hydrologique, l'indice d'humidité topographique et le NDVI. Ensuite, les résultats sont croisés avec le MNDWI pour une séparation des surfaces d'eau libre avec les autres zones de bas-fonds humides. Enfin, un croisement est effectué entre la carte des bas-fonds et la carte des pentes inférieures à 10 % afin d'extraire les zones de bas-fonds à faible pente. (02) Validation de l'approche terrain (validation) : pour valider la carte des bas-fonds propices au maraîchage, des observations directes sur la pédologie et la végétation ont été faites. A ceci, une collecte de 189 points de bas-fonds connus permet d'évaluer la fiabilité globale par superposition sur la carte produite.

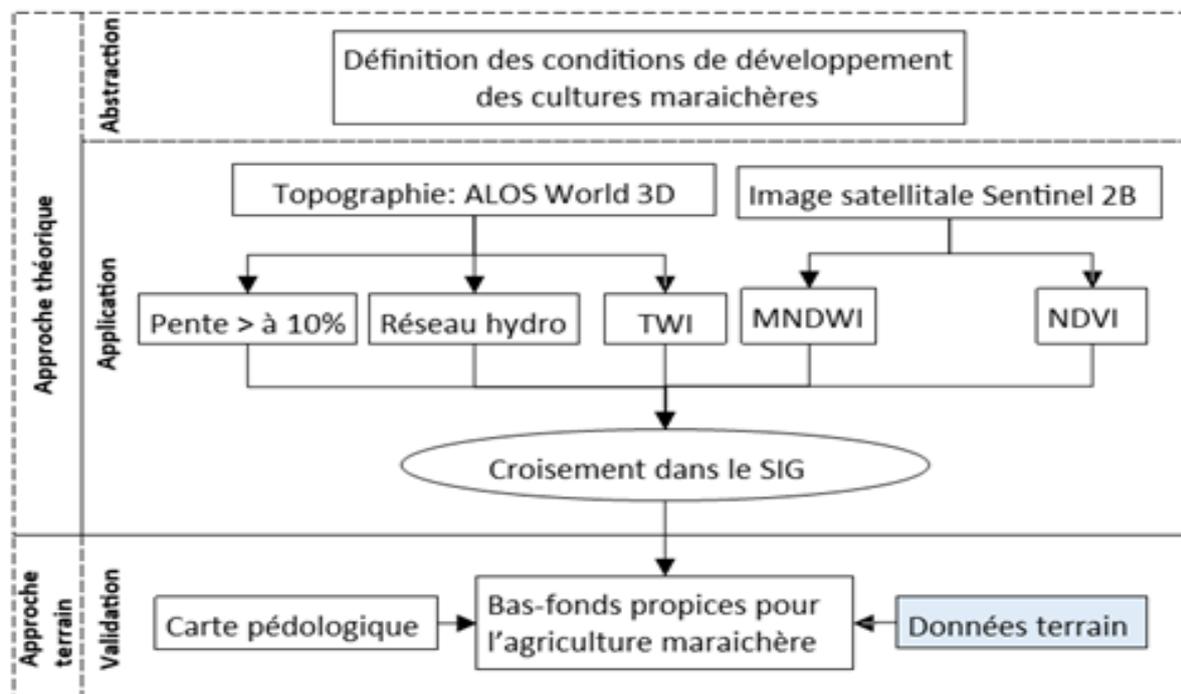


Figure 2. Modèle de cartographie des bas-fonds propices pour l'agriculture

Analyse des variables

Hydrologie (réseau de drainage)

L'eau est un élément essentiel pour les cultures maraîchères. Elle représente environ 80 % du poids des plantes (Arnaud & Gay, 1994) et est indispensable pour sa croissance. La variable eau est représentée par le réseau des cours d'eau. Le réseau de drainage des cours d'eau de la commune a été extrait à partir du modèle numérique de terrain. Le réseau de drainage a ensuite été reclassé en six (6) classes selon la méthode Strahler (1964) et Tarboton & Rodriguez-Iturbe (1991). L'appréciation visuelle de la carte montre que le Bassin versant de la Menoua est fortement drainé. Les cours d'eau les plus importants ont une longueur totale de 151 km, de 145 km pour les

cours d'eau d'importance moyenne et enfin de 869 km pour les cours d'eau les moins importants et temporaires. Les relevés de terrain et l'utilisation du logiciel Google Earth ont permis de définir les emprises des cours d'eau. Ainsi, les cours d'eau les plus importants ont reçu une zone tampon moyenne de 250 m, les cours d'eau importants ont reçu une zone tampon de 200 m, les cours d'eau moyennement importants ont reçu une zone tampon de 120 m, les cours d'eau de faible débit ont reçu une emprise de 80 m, les cours d'eau de très faible importance ont reçu une zone tampon de 50 m et les cours d'eau les plus faibles ont reçu une zone tampon de 25 m.

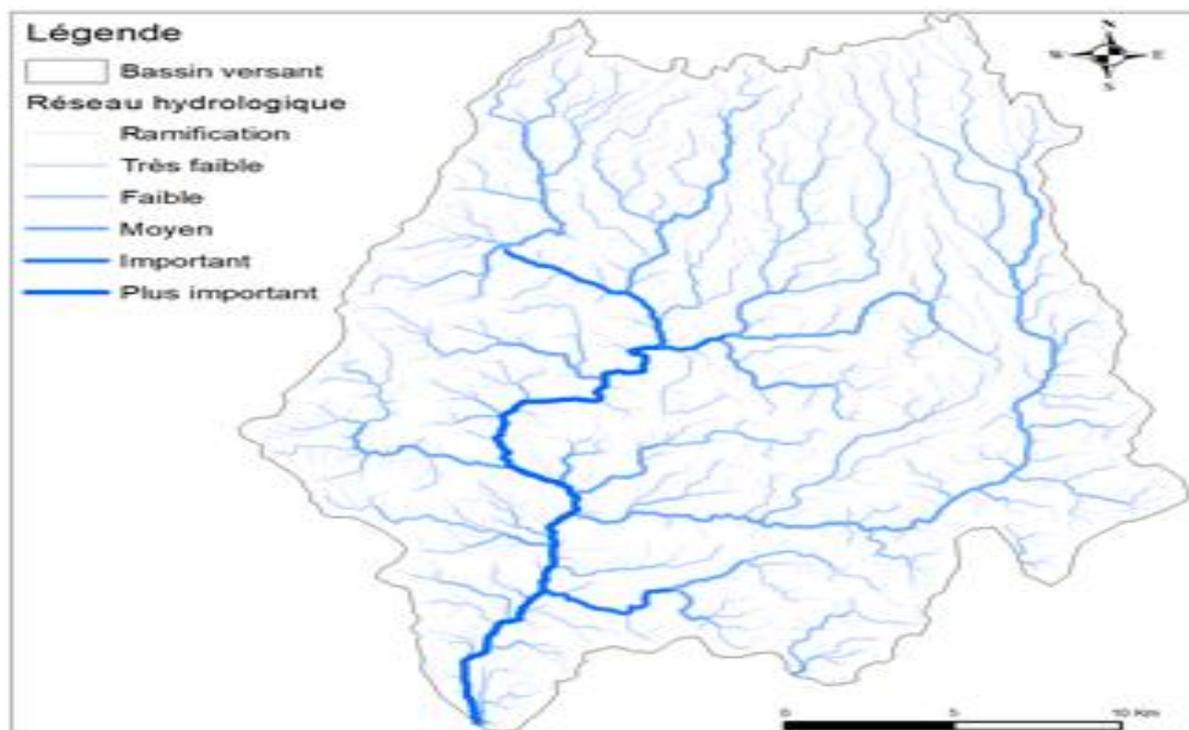


Figure 3. Carte du réseau hydrographique

Indice d'humidité topographique (TWI)

L'indice d'humidité topographique permet de mettre en évidence les zones de talwegs naturellement humides par leur position dans le bassin versant. Cet indice a été développé par Beven & Kirkby (1979), et le TWI est une grandeur sans unité. Afin de localiser ces talwegs potentiellement humides, un profil de terrain a été dressé (Figure 4). A partir de l'observation de ce profil, le seuil moyen de 10 a été retenu. Le BV de la Menoua présente 3104 ha de surface potentiellement humide étant donné leur position de talwegs.

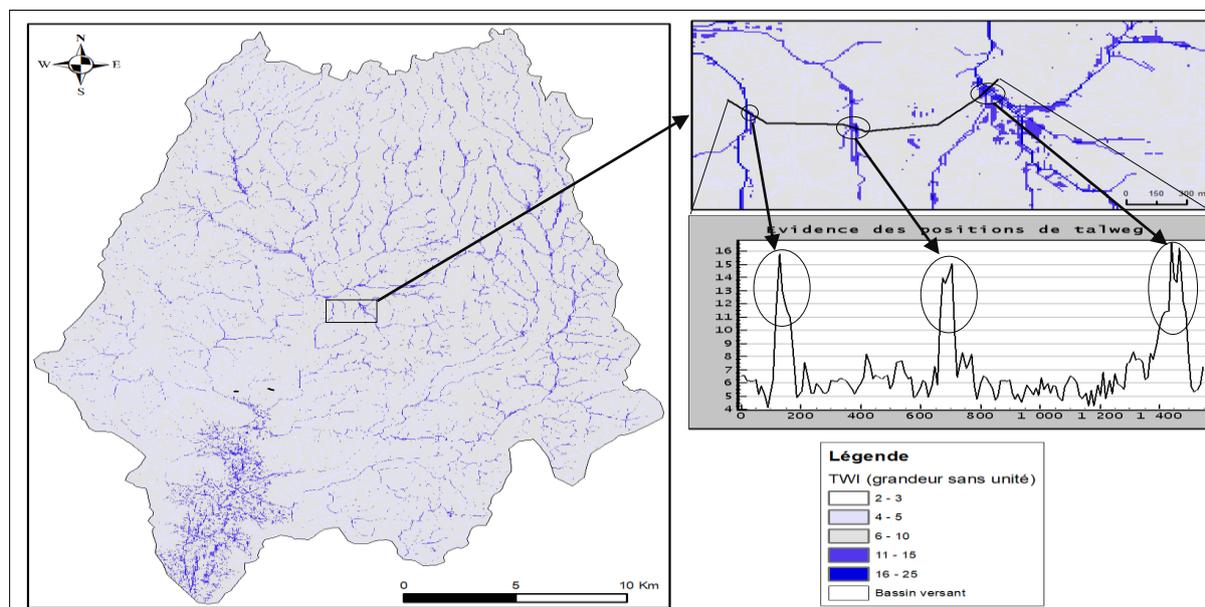


Figure 4. Indice d'humidité topographique (TWI)

Indice de différence normalisé de la végétation (NDVI)

Le NDVI est un indice de la végétation qui a été développé par Tucker (1979). La normalisation par la somme des longueurs d'ondes du rouge et du vert réduit les effets d'éclairement, ce qui permet au NDVI de conserver une valeur constante. Les plages qui représentent les couvertures d'occupation du sol sont définies

conformément à la

Figure 5. Ainsi, les valeurs inférieures à 0 correspondent aux surfaces d'eau, les plages entre 0 et 0,4 correspondent aux sols nus et artificialisés et, au-delà, il s'agit des surfaces végétalisées.

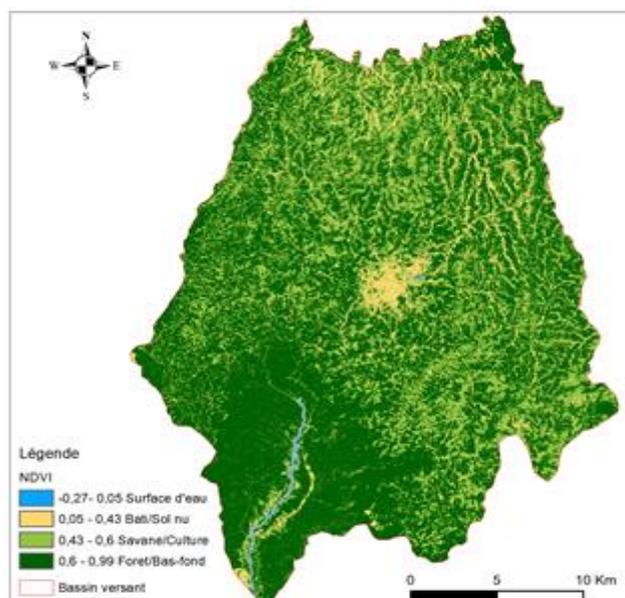


Figure 5. Indice de différence normalisée de la végétation

Indice modifié de différence normalisée des surfaces d'eau libre (MNDWI)

Le MNDWI est un indice développé par Hanqiu (2006) pour l'extraction des surfaces d'eau libre (Singh *et al.*, 2015). Il diminue l'intensité des couvertures bâties qui se confondent parfois aux surfaces d'eau dans d'autres indices tels que le NDWI (*Normalized Difference Water Index*) de Gao (1996). L'intérêt d'associer cet indice réside dans le fait qu'il permet de localiser les surfaces d'eau libre où il faudrait limiter le développement des cultures pour préserver l'équilibre du milieu. La connaissance du terrain a permis de délimiter les seuils d'occupation du sol conformément à la Figure 6. Cet indice est calculé ainsi :

$MNDWI = (Vert - MIR) / (Vert + MIR)$. Dans les bandes du Sentinel 2B, le Vert = la bande 3 et le MIR = la bande 12.

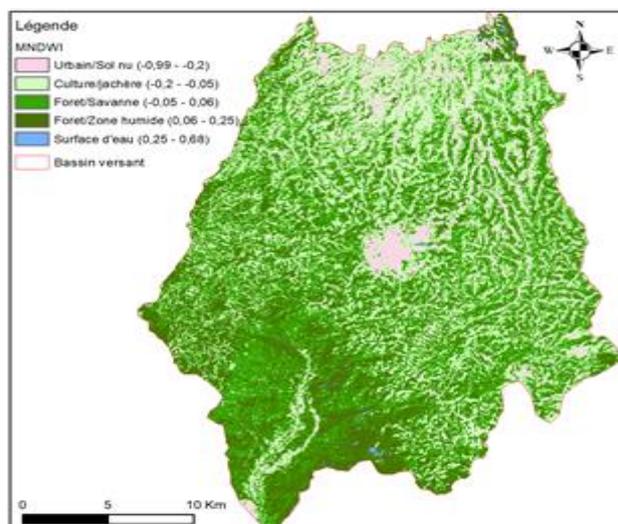


Figure 6. Indice modifié de différence normalisé des surfaces d'eau libre

La pente

La pente conditionne le développement des cultures maraîchères dans les bas-fonds (Castañeda & Ducrot, 2009). Dans le Bassin versant de la Menoua, les agriculteurs sont conscients de la présence des pentes abruptes et ils développent des systèmes de cultures maraîchères sur les pentes entre 0 et 10 % (5,71°). La variable pente a été divisée en cinq (05) classes, donc la plage la plus favorable au développement des cultures maraîchères est à moins de 5 % (soit 6 157 ha de la surface totale du site) et le niveau potentiellement favorable est la plage de 5 à 10 % (soit 9 837 ha).

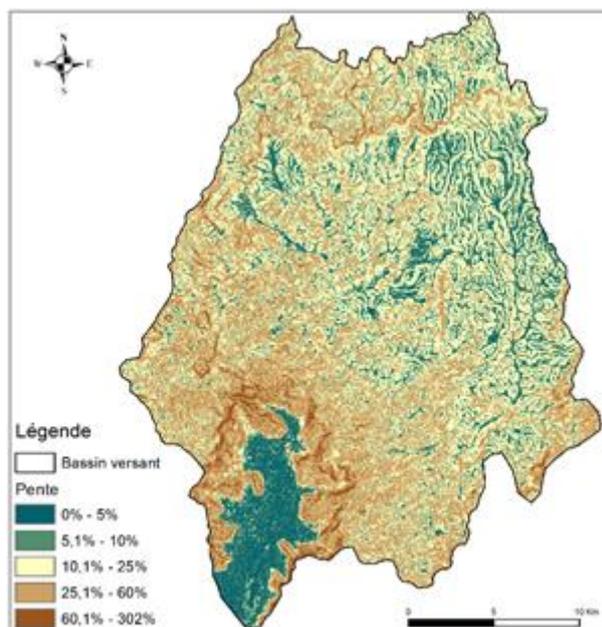


Figure 7. Pente en pourcentage

La pédologie

La carte ci-dessous présente sept (07) unités de sol regroupées en trois classes, à savoir : (1) le groupe des sols modaux qui comporte un sol modal d'apport sur alluvion fluviale et un sol modal ferrisolique sur roche basique, (2) le groupe des sols ferrallitiques qui comporte les sols faiblement ferrallitiques rouges sur roches acides, les sols ferrallitiques humifères sur basaltes, les sols ferrallitiques rouges sur roches acides et basiques et les sols ferrallitiques typiques rouges sur roches basiques, (3) le groupe de sols hydromorphes qui comporte les sols hydromorphes moyennement organiques.

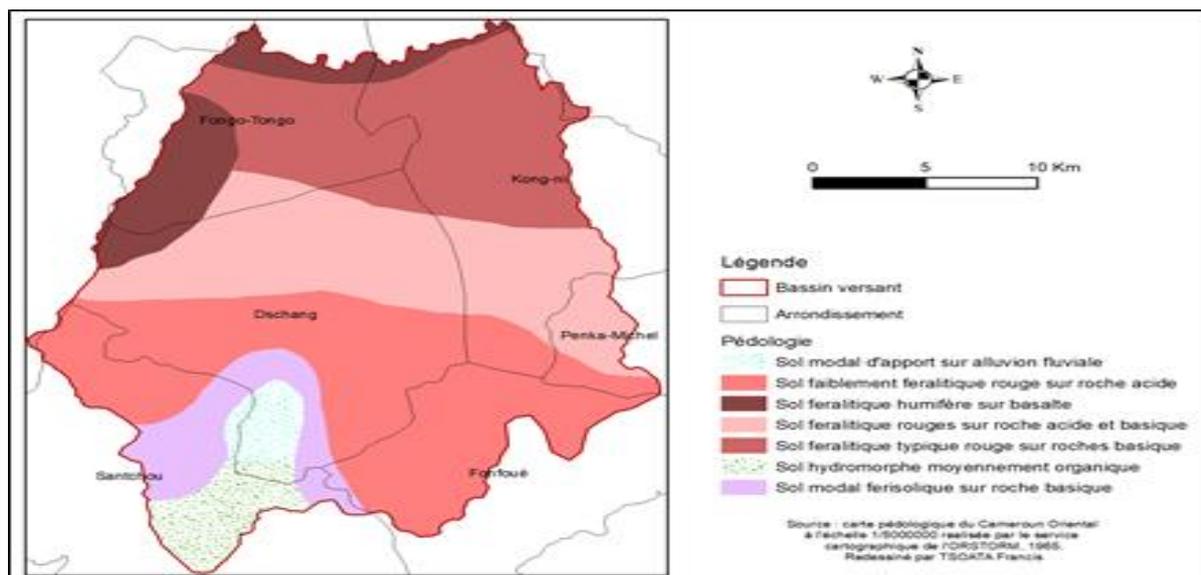


Figure 8. Pédologie

3. RESULTATS

3.1. Carte des bas-fonds aménageables pour l'agriculture maraîchère

Le croisement des cartes thématiques précédentes selon le modèle d'analyse proposé à la

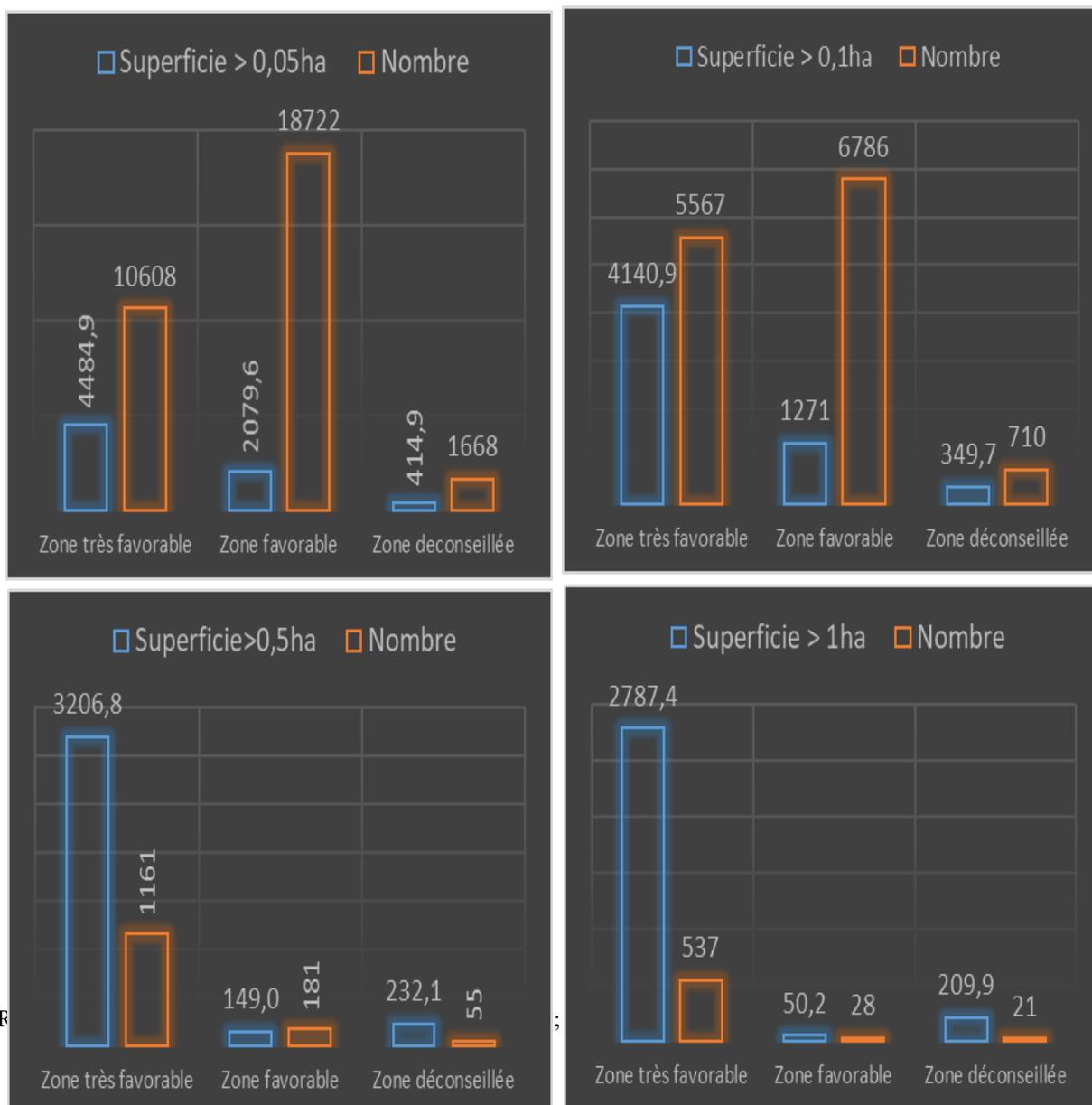


Figure 2 a permis d'obtenir une carte des bas-fonds aménageables pour l'agriculture maraîchère dans le Bassin versant de la Menoua. La légende est divisée en trois classes : (1) La plage favorable en vert plus clair concerne les zones de bas-fonds où les pentes sont comprises entre 5 et 10 % ; ces surfaces peuvent être également assimilées aux surfaces potentielles, (2) La plage très favorable concerne les zones de bas-fonds où les pentes sont inférieures à 5 %, représentées en vert terne sur la carte, (3) Enfin, la plage déconseillée avec des surfaces submergées constituées par les lits de cours d'eau mineurs, les étangs et les lacs représentés en bleu terne sur la carte.

Figure 9. Bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères dans le BV de la Menoua

La carte des bas-fonds de la Figure 9 a été convertie en fichier vectoriel et les statistiques calculées et représentées dans les graphiques de la Figure 10.

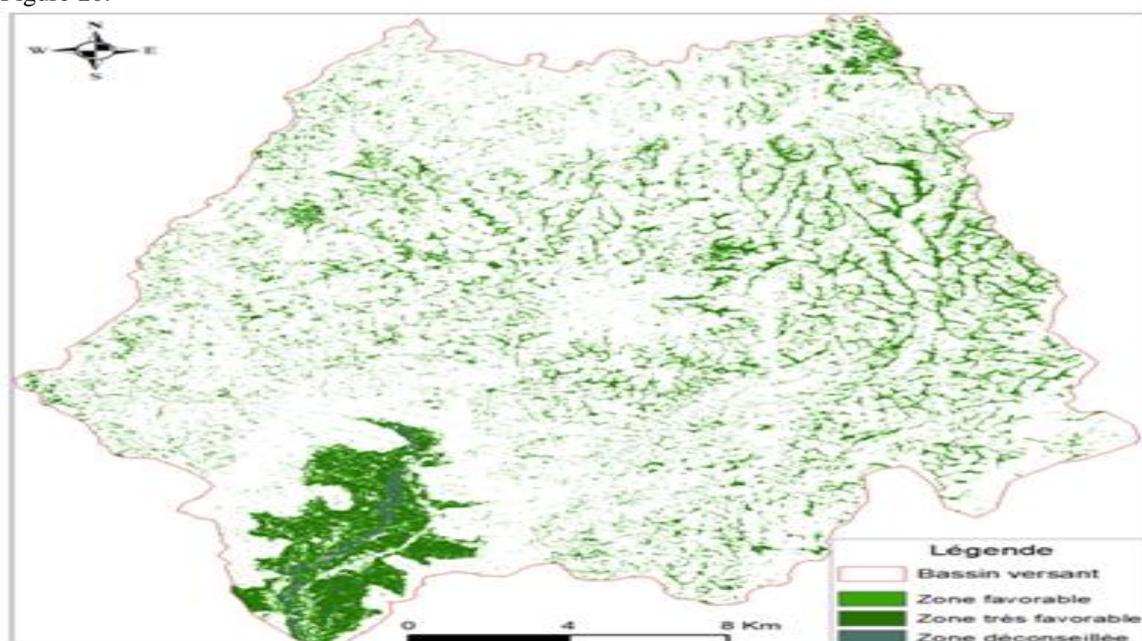


Figure 10

Figure 10. Statistiques de bas-fonds aménageables en fonction de la superficie

Les statistiques ont été extraites en fonction de la taille des parcelles. Pour les parcelles supérieures ou égales à 500 m², on enregistre dans la classe des zones très favorables une superficie de 4 485 ha pour un nombre de 10 608 bas-fonds contre 2 080 ha pour un nombre de 10 722 dans la classe des zones favorables et enfin, 415 ha pour un nombre de 1 668 dans la classe des zones déconseillées. Les statistiques régressent rapidement lorsque la taille de la parcelle augmente. Lorsqu'on s'intéresse aux surfaces supérieures à un (1) hectare, on enregistre dans la classe des zones très favorables 2 787 ha pour un nombre de 537 bas-fonds contre 50 ha de surface pour 28 bas-fonds pour la classe des zones favorables et 210 ha de surface pour un nombre de 21 dans la classe des zones déconseillées. Les surfaces maximales sont localisées au sud du BV de la Menoua dans la commune de Santchou. Ici, les parcelles sont comprises entre 26 et 394 ha, avec une couverture totale de 1 370 ha, soit 45 % des surfaces de bas-fonds aménageables du Bassin versant de la Menoua.

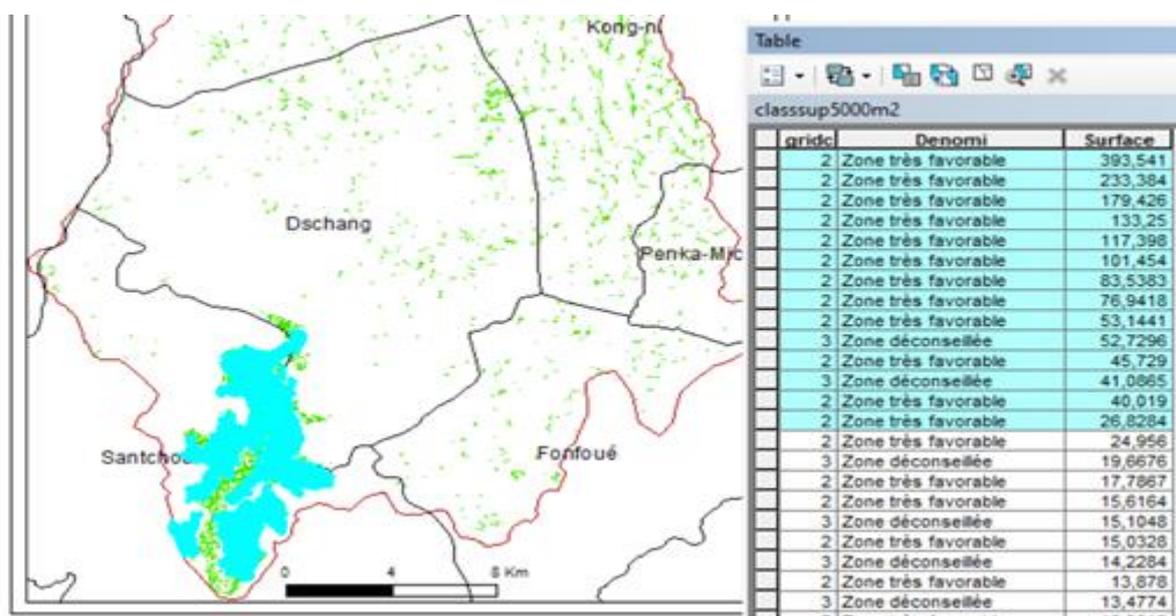


Figure 11. Localisation des surfaces de bas-fonds de plus de 25 ha

3.2. Validation de l'approche (Approche terrain)

La validation ici consiste à exprimer en pourcentage la fiabilité en fonction de la collecte des points de bas-fonds connus sur le terrain au GPS de navigation. Ainsi, la collecte de 189 points de bas-fonds répartis dans l'ensemble du BV de la Menoua a été effectuée. Grâce à l'outil *extract value to point* contenu dans la boîte à outils du logiciel ArcGIS

Figure 12), la précision globale de la carte des bas-fonds a été mesurée.

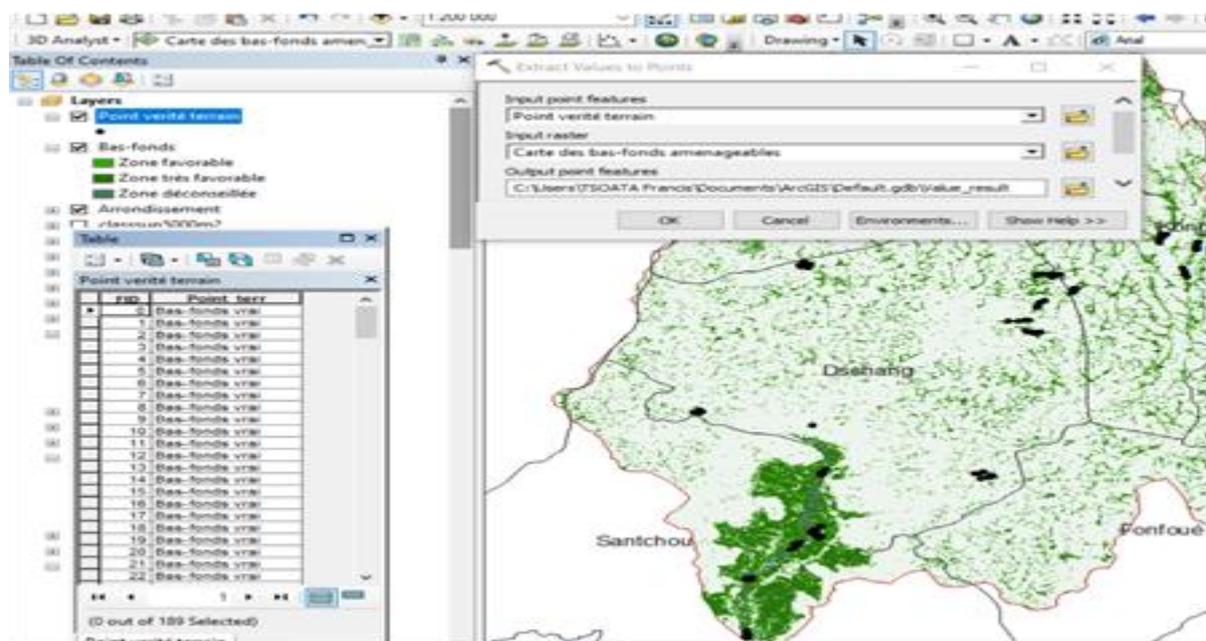


Figure 12. Illustration de l'outil Extract Value to Points de la boîte à outil d'ArcGIS

Dans un premier temps, l'évaluation de la fiabilité de la carte du potentiel en bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères (Figure 9) est faite sans considération des zones potentielles ou favorables. L'évaluation a obtenu un score de 140 points cohérents contre 49 points incohérents, soit une fiabilité de 74,08 % (

Tableau 2.). Dans un second temps, l'évaluation de la fiabilité des résultats a été faite en tenant compte des zones potentielles. Le score obtenu était de 181 points cohérents contre 8 points incohérents, soit une fiabilité de 95,77 %.

Tableau 2. Evaluation de la fiabilité de la carte du potentiel en bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères

Description	Points non cohérents	Points cohérents	Total des points collectés	Précision globale (%)
Sans considération des bas-fonds potentiels (zone favorable)	49	140	189	74,08
En considérant les bas-fonds potentiels	8	181		95,77

4. DISCUSSION

En raison de la mutation des techniques culturales, des variations de climat, de la croissance démographique forte et d'un capital humain plus important à nourrir, le besoin de renforcement des filières agricoles est l'une des priorités. Les bas-fonds constituent un lieu par excellence de développement des cultures de contre-saison du fait de leur drainage en eau presque toute l'année et du caractère fertile des sols. La carte pédologique permet de confirmer cette fertilité des sols. Dans le BV de la Menoua, les cultures maraîchères sont favorables dans le groupe des sols modaux et des sols ferrallitiques et très favorables sur les sols ferrallitiques humifères et encore plus sur les sols hydromorphes organiques

(

Figure 8). La mise en valeur et la préservation de ces bas-fonds nécessitent qu'ils soient inventoriés et connus (Bertrand, 1988; Verhoeven & Setter, 2010; Feyissa *et al.*, 2019).

La présente étude a permis la cartographie du potentiel en bas-fonds propices aux cultures maraîchères par une approche de télédétection et SIG qui combine l'utilisation des données satellitaires Sentinel et Alos World 3D. Le résultat obtenu est discutable pour plusieurs raisons que nous avons regroupées en trois principaux points :

(01) Les données primaires d'entrée du modèle

Les données utilisées dans cette étude sont multisources et sont obtenues gratuitement. Les images traitant de la morphologie des sols proviennent du satellite Alos World 3D de 30 m de résolution spatiale. Les données de calcul des indices d'utilisation des sols proviennent des images satellitaires Sentinel 2B de 10 m de résolution spatiale dans la gamme d'ondes du proche infrarouge, du rouge, du vert et du bleu. Les données d'observation de la pédologie ont été extraites par le géoréférencement et la vectorisation de la carte pédologique faite à l'échelle nationale en 1980, donc la précision lors de la confection n'est pas prononcée. La gratuité est à la fois une aubaine pour les études à faible coût, mais également une source de faiblesse pour les études où une meilleure précision est recherchée, car les données obtenues sont généralement de résolution et de qualité inadaptées. Compte tenu de la pression foncière dans la région (Fouepe, 2008; Yemmafou, 2012; Tchékoté *et al.*, 2018), les surfaces agricoles de 50 m² ont autant un intérêt que les grandes surfaces dans le processus de mise en valeur (Tangmouo, 2020). Ainsi, pour une telle étude, l'utilisation des images d'une résolution spatiale de 5 m est préconisée. Néanmoins, afin de rééchantillonner l'ensemble des variables à la même résolution, le prétraitement a opté pour un rééchantillonnage à

l'échelle de la résolution spatiale des données Sentinel 2B (10 m).

(02) L'application dans le SIG

Le choix du mode d'intégration des paramètres ou des variables dans le SIG conditionne le type de format d'usage et des types de traitements. Ainsi, pour la production de cartes d'aptitude comme le cas présent, l'utilisation du mode raster paraît plus indiquée, mais cela ne se fait pas sans contrainte. Ainsi, dans le processus d'application dans le SIG, les opérations de passage du vecteur au raster et du raster au vecteur entraînent de nombreuses pertes d'informations. Ces pertes d'information sont des déformations du fait des formes de représentation de chaque format (raster ou vecteur) et du choix de la résolution spatiale de la grille (Goodchild, 1980; Antenucci *et al.*, 1991; Burrough, 1998). Le choix pour le raster est surtout porté par les possibilités faciles d'application des calculs simples d'algèbre mathématique (intersection, addition, reclassement, dérivation...) et de la forme régulière des données une fois convertie dans ce format (maille carrée). Également, les opérations de croisement des cartes thématiques produisent des erreurs, notamment en ce qui concerne la limite entre les différents pixels des cartes croisées. Par exemple, pour un pixel d'une carte croisée avec les pixels des autres cartes, il peut arriver que ce pixel se trouve soit totalement inclus ou exclu avec les autres pixels, ou encore moyennement inclus. C'est ce dernier cas de figure qui produit des problèmes dans la représentation de la limite. Rééchantillonner toutes les variables thématiques à croiser permet de réduire au mieux cette contrainte.

(03) La dimension temporelle de l'étude

Le traitement a été fait pendant une saison donnée correspondant à la fin de la période des crues (octobre). L'étude s'avère alors plus valable pendant la saison des crues que pendant la saison d'étiage. Une étude plus détaillée devrait également produire un modèle de carte d'aptitude en saison sèche afin de représenter les deux grandes zones saisonnières de la région. Aussi, compte tenu de la dynamique spatiale des territoires, la carte devrait être dérisoire dans les cinq (5) à dix (10) ans à venir, ce qui nécessite une actualisation constante des variables dans un temps défini, tous les cinq à sept ans.

Contrairement à de nombreuses études où les auteurs (Lebaut & Manceau, 2015; Kafilatou *et al.*, 2016; Souberou *et al.*, 2017; Feyissa *et al.*, 2019) ont limité l'évaluation des statistiques aux surfaces de plus d'un (1) hectare, la présente étude est allée en deçà (parcelle supérieure à 500 m²). Ce choix est motivé dans un premier temps par la résolution des images satellites, notamment les Sentinel qui ont une résolution spatiale de 10 m dans la gamme du visible et du proche infrarouge qui l'ont rendue possible. Deuxièmement, du fait de la pression foncière dans la zone qui rend une petite surface

aussi importante qu'une grande surface (plus de 1 ha). Cette position est confortée par les auteurs ayant traité la question en pays Bamiléké tels que Bertrand (1988); Fotsing (199); Grangeret-Owona (1997); Fouepe (2008); Yemmafouo (2012); Tchékoté *et al.* (2018). Dans la localité de Bafou, par exemple, une enquête faite par Tchékoté *et al.* (2018) montre que 85 % des agriculteurs ruraux ont des parcelles inférieures à 1 ha. Avec la croissance démographique actuelle, l'espace agricole est morcelé et la surface agricole utile pour un ménage est relativement faible. Cette conjoncture oblige les agriculteurs à exploiter les bas-fonds quelle qu'en soit la taille de la superficie. L'intérêt d'associer les zones de bas-fonds dont la pente est comprise entre 5 et 10 % est motivé par les techniques d'arrosage dans la région. Pour irriguer les sols à pente légèrement élevée (entre 5 et 10 %), les agriculteurs optent pour les motopompes et les arrosoirs. Cette technique était déjà décrite par Tchawa (1997) sur l'évolution des techniques traditionnelles de gestion des sols pour les cultures en bas-fonds dans la région de l'Ouest-Cameroun.

L'aménagement des bas-fonds doit tenir compte du respect des surfaces sensibles. Ainsi, on enregistre dans la zone des surfaces déconseillées ou à éviter pour le développement de l'agriculture maraîchère, environ 415 ha de surface. Les zones déconseillées comprennent les étangs, le lac municipal, les lits mineurs des cours d'eau. L'intérêt de préserver ces zones face aux activités agricoles fait suite à leur sensibilité à la pollution. Kenko *et al.* (2017) l'ont montré sur le cours d'eau le plus important du BV de la Menoua (cours d'eau Menoua) et une autre étude sur la pollution du lac municipal a été faite par Tazen *et al.* (2013). On peut noter le désir de préserver l'écoulement de l'eau dont les nouvelles pratiques culturales intensives concourent à leur assèchement. Dans les modèles traditionnels de gestion des cours d'eau secondaires et tertiaires, des raphias étaient plantés qui s'intègrent au milieu hydromorphe et jouent le rôle régulateur d'adoucissement des températures et pérennisent l'écoulement de l'eau pendant l'année. Cette formation végétale a également la particularité d'abriter la faune, comme des rongeurs, des reptiles et des oiseaux. Aujourd'hui, la régression rapide des formations raphiales et l'abandon de leur reboisement concourent à l'assèchement rapide des cours d'eau à un certain niveau où on se demande si les bénéfices actuels tirés des bas-fonds en valent les pertes en ressources futures.

5. CONCLUSION

L'aménagement des bas-fonds s'affirme comme une des solutions adéquates pour l'intensification des filières maraîchères, car ces milieux présentent l'avantage d'avoir en presque toute l'année la ressource en eau et une bonne fertilité des sols due

aux apports perpétuels des alluviaux et des colluviaux. Leur mise en valeur nécessite qu'ils soient inventoriés et connus. La cartographie des bas-fonds est rendue possible par l'observation et la représentation des données sur la topographie, l'hydrologie et l'utilisation des sols. Cette contribution a utilisé une approche combinant les données de télédétection (Sentinel 2B et Alos World 3D) appliquées dans un SIG pour une évaluation rapide du potentiel de bas-fonds propices au développement des cultures maraîchères dans le BV de la Menoua. Les résultats ont permis de distinguer 03 classes de bas-fonds dont les statistiques pour les surfaces de plus de 1000 m² sont les suivantes : les zones très favorables ont une couverture de 4141 ha pour 5567 bas-fonds contre 1271 ha des zones potentiellement favorables pour un nombre de 6786 et 350ha (pour un nombre de 710) de surfaces déconseillées au développement des cultures maraîchères. La carte produite a été validée par la collecte de données sur le terrain de 189 bas-fonds dont la cohérence globale est estimée à 95,77 % en tenant compte des zones potentielles et à 72,07 % sans tenir compte des zones potentiellement favorables. Cette cohérence est jugée acceptable pour les résolutions des données utilisées. Toutefois, le développement des cultures maraîchères dans les bas-fonds doit tenir compte du respect des milieux dans lesquels ces cultures prennent forme, car les débats autour de la préservation des ressources naturelles pour les générations futures sont de plus en plus d'actualité et les bas-fonds en constituent une priorité, étant donné les nombreux services écosystémiques qu'ils offrent.

Références

- Antenucci J., Brown K., Croswell P., Kevany M. & Archer H., 1991. *Geographic Information Systems : A Guide to the Technology*. Springer US. <https://www.springer.com/gp/book/9781461367550>
- Arnaud L. & Gay B., 1994. *De l'eau pour le maraîchage. Expériences et procédés* (GRET). <https://www.decitre.fr/livres/de-l-eau-pour-le-maraichage-9782868440631.html>
- Bernstein S., Benomar E., Schensul D., Mogelgaard K., Edmeades J., Luchsinger G., Ryan W. A. & Starrs A. M., 2019. *Etat de la population mondiale 2019*, 180 p. UNFPA. <https://www.unfpa.org>
- Bertrand V., 1988. *Intégration du maraîchage dans les systèmes de production dans le Nord de la chefferie de Bafou (Pays Bamiléké—Ouest Cameroun)* (Cameroun). Master thesis, CNEARC, 92p <http://agritrop.cirad.fr/359350/>
- Beven K. J. & Kirkby M. J., 1979. A physically based, variable contributing area model of basin hydrology.

- Hydrological Sciences Bulletin*, 24(1), 43-69. <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>
- Bobbink R., Whigham D. F., Beltman B. & Verhoeven J. T. A., 2006. Wetland Functioning in Relation to Biodiversity Conservation and Restoration. In *Wetlands : Functioning, Biodiversity Conservation, and Restoration*, pp. 1-12. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-33189-6_1
- Burrough P. A. & A, M. R., 1998. *Principles Of Geographical Information Systems*. Oxford University Press.
- Castañeda C. & Ducrot D., 2009. Land cover mapping of wetland areas in an agricultural landscape using SAR and Landsat imagery. *Journal of Environmental Management*, 90(7), 2270-2277. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2007.06.030>
- Chabi A., Oloukoi J., Mama V. J. & Kiepe P., 2010. Inventaire par télédétection des agro-écosystèmes de bas-fonds dans le centre du Bénin. *Cahiers Agricultures*, 19(6), 446-453. <https://doi.org/10.1684/agr.2010.0434>
- Feyissa M. E., Cao J. & Tolera H., 2019. Integrated remote sensing-GIS analysis of urban wetland potential for crop farming: A case study of Nekemte district, western Ethiopia. *Environmental Earth Sciences*, 78(5), 153p. <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8149-8>
- Fotsing J. M., 1993. Erosion des terres cultivées et propositions de gestion conservatoire des sols en pays bamiléké (Ouest-Cameroun). *Maison de la Télédétection, laboratoire Orstom*, 28(2), 17p.
- Fouepe G. H. F., 2008. *Les mutations du secteur agricole bamiléké (Cameroun) étudiées à travers ses acteurs : Une analyse à partir des localités de Fokoué et de Galim*. Thèse de doctorat en géographie, AgroParisTech, 416 p. https://pastel.archives-ouvertes.fr/file/index/docid/501126/filename/These_Guillaume_FONGANG.pdf
- Gao B., 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58(3), 257-266. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00067-3)
- Goodchild M. F., 1980. Fractals and the accuracy of geographical measures. *Journal of the International Association for Mathematical Geology*, 12(2), 85-98. <https://doi.org/10.1007/BF01035241>
- Grangeret-Owona I., 1997. *L'agriculture bamiléké vue à travers sa gestion de la fertilité agronomique*. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques, Université des Sciences Agronomiques de Gembloux, 668 p. http://41.204.94.197/index.php?lvl=notice_display&id=28489
- Hanqiu Xu., 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 27(14), 3025-3033. <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>
- IRAM (Institut de Radioastronomie Millimétrique), 2017. *Evaluation des risques agricoles au Cameroun (Managing risks to improve farmers' livelihoods, p. 138*
- [Platform for Agricultural Risk Management]. Etat du Cameroun. https://p4arm.org/app/uploads/2015/02/PARM_Cameroon_Risk-Assessment-Study_web_FR.pdf
- Kaffo C. & Fongang G., 2009. Les enjeux agricoles et sociétaux de l'eau sur les monts Bamboutos (Cameroun). *Cahiers Agricultures*, 18(1), 17-25. <https://doi.org/10.1684/agr.2009.0264>
- Kafilatou S., Oloukoi J. & Amoussou E., 2016. Cartographie du potentiel en bas-fonds aménageables de la commune de materi au benin. *Revue de Géographie de l'Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO*, 2(005), 69-89.
- Kenko D. B., Tchamadeu N., Fai P. & Mbida M., 2017. Bioévaluation de la qualité des eaux du Cours d'eau Menoua en zone périurbaine de Dschang, Ouest Cameroun. *European Scientific Journal*, 13. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n27p368>
- Klimas A. A., 1996. Methodology for mapping shallow groundwater quality in urbanized areas: A case study from Lithuania. *Environmental Geology*, 27(4), 320-328. <https://doi.org/10.1007/BF00766701>
- Lebaut S. & Manceau L., 2015. Potentialités des images Landsat pour l'identification et la délimitation de zones humides à l'échelle régionale : L'exemple de l'Est de la France. *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, 9, 125-140. <https://doi.org/10.4000/physio-geo.4563>
- Millennium Ecosystem Assessment (MEA) (Éd.), 2005. *Ecosystems and human well-being : Synthesis*. Island Press, 137 p.
- Morin S., 1982. Types d'évolution des versants dans l'Ouest Cameroun. *Travaux du Laboratoire de Géographie Physique Appliquée*, 6(1), 39-95. <https://doi.org/10.3406/tlgepa.1982.885>
- ONU, 2019. *World Population Prospects 2019*. Peace, Dignity and Equality on a Healthy Planet. <https://www.un.org/en/sections/issues-depth/population/index.html>
- Singh K. V., Setia R., Sahoo S., Prasad A. & Pateriya B., 2015. Evaluation of NDWI and MNDWI for assessment of waterlogging by integrating digital elevation model and groundwater level. *Geocarto International*, 30(6), 650-661. <https://doi.org/10.1080/10106049.2014.965757>
- Souberou K. T., Agbossou K. E. & Ogouwale E., 2017. Inventaire et caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de l'Oti au Bénin à l'aide des images Landsat et ASTER DEM. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology (IJEAB)*, 2(4), 1601-1623. DOI : 10.22161/ijeab/2.4.20
- Strahler, 1964. *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Tangmouo Tsoata F., 2020. *Agriculture urbaine et intégration dans l'aménagement urbain : Cas de la ville de Dschang, Ouest-Cameroun*. Mémoire de recherche en géographie, Université de Dschang, 170 p.

Tarboton D. G., Bras R.L. & Rodriguez-Iturbe L., 1991. *On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. Hydrological Processes*, 5, 81-100.

Tazen F., Fonteh M. & Karambiri H., 2013. Gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du lac municipal de Dschang : Connaissance et usages. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(2), 840-851. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v7i2.39>

Tchawa, P., 1997. Evolution des techniques traditionnelles de gestion des sols et développement durable : Enseignements tirés de l'étude de deux terroirs bamiléké (Ouest-Cameroun). *Journal Article - Cahiers d'outre-mer*, 50(50-197), 69-86.

Tchékoté H., Melachio M. N. & Siyapdje E. C., 2018. Appropriation foncière, pratiques agricoles et enjeux environnementaux à Bafou-Nord dans les monts Bamboutos (Ouest Cameroun). *Belgeo*, 2, 1-18. <https://doi.org/10.4000/belgeo.21085>

Temgoua E., Tsafack H. N., Pfeifer H. R. & Njine T., 2015. Teneurs en éléments majeurs et oligoéléments dans un sol et quelques cultures maraîchères de la ville de Dschang, Cameroun. *African Crop Science Journal*, 23(1), 35-44. <https://doi.org/10.4314/acsj.v23i1>.

Tucker C. J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0)

Verhoeven J. T. A. & Setter T. L., 2010. Agricultural use of wetlands : Opportunities and limitations. *Annals of Botany*, 105(1), 155-163. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp172>

Yemmafouo A., 2012. L'arbre dans les agrosystèmes bamiléké (Ouest Cameroun) : Vers un retour à une solution traditionnelle aux problèmes environnementaux locaux. *Revue de Géographie de l'Université de Ouagadougou*, 00, 87-99.