

Utilisation de la télédétection et des Systèmes d'Information Géographique (SIG) dans la cartographie des bas-fonds dans le département de Man (Ouest de la Côte d'Ivoire)

[Use of Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) for Mapping Low-Lying Areas in the Man County (Western Côte d'Ivoire)]

COULIBALY Léréyaha¹, OUATTARA Ismaïla¹, KONE Brahim², OUEDRAOGO Moussa¹, DAO Amidou², SORO Gneneyougo Emile², and KAMAGATE Bamory²

¹Department des mines et réservoirs, Université de Man, UFR des sciences Géologiques et Minières, Man, Côte d'Ivoire

²Laboratoire de Géosciences et Environnement, Université Nangui Abrogoua, UFR Sciences et Gestion de l'Environnement, Abidjan, Côte d'Ivoire

Copyright © 2025 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The aim of this work is to identify and enhance the value of lowlands in the face of the challenges posed by climatic hazards, with a view to the sustainable use of land that represents a major challenge for agriculture in Ivory Coast. The data used in this study are sentinel-2 images for the year 2023. The various methodological approaches used consisted of the combined extraction of vegetation, moisture and topographical indices. Analysis of the results shows that our study area has lowlands covering an area of around 31,100 ha. In the department of Man, 121584 ha of wetlands have been inventoried, covering 12% of the territory. They offer opportunities for a variety of crops, particularly rice and market gardening, and play a crucial role in food security and people's livelihoods. However, their use faces challenges linked to climatic hazards, water management constraints and land pressure from urban expansion. Lowlands benefit from higher humidity and soils that are often rich in nutrients, which encourages crop growth. Farming in these areas contributes to local food security and can generate additional income for households. At times, these areas are prone to flooding and drought, which can lead to crop losses. It is important to manage these different plots in a sustainable way, taking into account the needs of the local population and the preservation of the environment. This work highlights the effectiveness of the remote sensing-GIS approach for monitoring wetland ecosystems and strategies for adapting to climate change.

KEYWORDS: Inland valleys, remote sensing, GIS, cartography, Ivory Coast.

RESUME: L'objectif de ce travail est d'identifier et de valoriser les bas-fonds face aux défis posés par les aléas climatiques en vue d'une exploitation durable des terres représentant un enjeu majeur pour l'agriculture en Côte d'Ivoire. Les données utilisées dans cette étude sont les images sentinel-2 de l'année 2023. Les différentes approches méthodologiques exploitées ont consisté à la conjugaison de l'extraction des indices de végétation, d'humidité et topographiques. L'analyse des résultats révèle que notre zone d'étude est pourvue en bas-fonds couvrant une superficie d'environ 31100 ha. Pour dans le département de Man les zones humides inventoriées sont au nombre de 121584 ha et occupent 12 % du territoire. Ils offrent des opportunités de cultures variées, notamment le riz et le maraîchage, et jouent un rôle crucial dans la sécurité alimentaire et la subsistance des populations. Cependant, leur

exploitation est confrontée à des défis liés aux aléas climatiques, aux contraintes de gestion de l'eau et à la pression foncière due à l'expansion urbaine. Les bas-fonds bénéficient d'une humidité plus importante et de sols souvent riches en nutriments, ce qui favorise la croissance des cultures. L'agriculture dans ces zones contribue à la sécurité alimentaire locale et peut générer des revenus supplémentaires pour les ménages. Par moment ces zones sont sujettes aux inondations et à la sécheresse, ce qui peut entraîner des pertes de récoltes. Il est important d'aménager ces différentes parcelles de manière durable, en tenant compte des besoins des populations locales et de la préservation de l'environnement. Ce travail met en lumière l'efficacité de l'approche télédétection-SIG pour le suivi des écosystèmes humides et aux stratégies d'adaptation aux changements climatiques.

MOTS-CLEFS: Bas-fonds, télédétection, SIG, cartographie, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

Au cours des dernières décennies, l'exploitation des bas-fonds a connu une expansion significative en Afrique de l'Ouest, tant en nombre qu'en superficie. Cette dynamique s'explique par la fertilité naturelle de leurs sols et leur caractère hydromorphe, qui les rend particulièrement attractifs dans un contexte de forte variabilité climatique et de mutations profondes des systèmes d'utilisation des terres agricoles [17]. Dans l'ensemble de l'Afrique subsaharienne, le développement agricole des zones humides – et des bas-fonds en particulier – s'est fortement accéléré ces dernières années [21]; [22] ces derniers étant de plus en plus considérés comme des espaces stratégiques pour renforcer la sécurité alimentaire et lutter contre la pauvreté rurale. Représentant environ 7 % des terres cultivables du continent [1], les bas-fonds constituent un réservoir foncier à fort potentiel pour l'intensification de certaines cultures, notamment le riz [14], en raison de leur disponibilité en eau et de leur bonne fertilité. Leur valorisation est aujourd'hui envisagée comme une réponse prometteuse aux effets du changement climatique et à la dégradation des terres agricoles [11].

En Côte d'Ivoire, les zones humides représentent un important capital naturel, particulièrement dans la bande centrale, où les bas-fonds sont abondants. Toutefois, les spécificités géomorphologiques de chaque bassin versant (Comoé, Bandama, Sassandra, Cavally), combinées aux particularités climatiques locales, confèrent aux bas-fonds des caractéristiques propres, rendant toute approche de gestion uniforme peu adaptée. L'absence de caractérisation fine de ces zones conduit bien souvent à des aménagements standardisés, inadaptés aux réalités environnementales locales. Dans ce contexte marqué par un calendrier climatique de plus en plus incertain et par des contraintes physiques complexes, les faibles capacités techniques des producteurs exacerbent les difficultés agricoles. L'élaboration de politiques d'aménagement efficaces nécessite donc un appui scientifique solide, dont la première étape consiste à établir une base de données géospatiale fiable et détaillée [20].

Si les méthodes de levés de terrain traditionnelles permettent des observations précises, elles restent chronophages et coûteuses à grande échelle. À l'inverse, les techniques de télédétection couplées aux systèmes d'information géographique (SIG) offrent une alternative efficace pour identifier, cartographier et analyser les zones humides de manière rapide, homogène et à différentes échelles d'analyse [5]; [9]; [13]; [16]; [18].

Dans ce cadre, la présente étude a pour objectif principal l'identification et la cartographie des bas-fonds dans le département de Man, à l'aide d'outils de télédétection et de systèmes d'information géographique. Il s'agit, plus précisément, de localiser et de délimiter les zones humides de type bas-fonds, d'évaluer la fiabilité et la précision des méthodes géospatiales mobilisées pour cet inventaire, et de produire une base de données géographique exhaustive pouvant servir de support à la planification territoriale et à la mise en œuvre de stratégies d'aménagement durable.

2 MATERIEL ET METHODE

2.1 ZONE D'ETUDE

Le département de Man, situé dans la région du Tonkpi à l'Ouest de la Côte d'Ivoire, s'étend entre 07°00' et 07°40' de latitude nord et entre 07°20' et 08°00' de longitude ouest. Avec une superficie d'environ 2 692 km² et une population de 461 135 habitants [6], ce territoire se caractérise par une forte densité humaine et un environnement varié (Figure 1). Il est limité par les départements de Biankouma, Danané, Bangolo et Kouibly ainsi que Facobly respectivement au Nord, à l'Ouest, au Sud et à l'Est.

Le relief du département de Man est composé de plusieurs unités morphologiques à savoir: les sommets qui sont plus ou moins élevés, les versants et les fonds de vallées. Ces unités morphologiques sont subdivisées en deux ensembles morphologiques et d'extension inégale: un ensemble montagneux (chaîne de Toura et de Dan) et une zone de plateau [8]. Le département de Man présente ainsi des sites quasiment accidentés. En effet, c'est ici que l'on rencontre les reliefs les plus vigoureux de la Côte d'Ivoire avec des altitudes atteignant et dépassant même les 1000 m. Le département est traversé par un réseau hydrographique dense, alimenté par les affluents du fleuve Sassandra [8]. Son climat est de type tropical humide caractérisé par deux saisons une saison sèche et une saison humide. La température varie entre 24,8°C et 28,5°C.

Les sols du département de Man sont principalement de type ferralitique, avec une fertilité chimique moyenne [12]. On distingue plusieurs types:

- Sols remaniés sur granitoïdes à texture sablo-argileuse, présents en périphérie,
- Sols issus de migmatites caractérisés par une forte teneur en argile et adaptés aux milieux forestiers,
- Sols hydromorphes argilo-limoniques qui se développent dans les plaines alluviales.

2.1.1 DONNÉES UTILISÉES

Deux principales sources de données ont été mobilisées dans cette étude. Il s'agit, d'une part, des images Sentinel-2 datées du 21 décembre 2023, orthorectifiées et présentant une résolution spatiale comprise entre 10 et 20 mètres. Ces images sont particulièrement adaptées à l'extraction d'indices de végétation et d'humidité, tels que le NDVI ou le NDMI. D'autre part, les modèles numériques d'élévation ASTER (DEM), avec une résolution spatiale de 30 mètres, ont été utilisés pour dériver des indices topographiques tels que la pente et l'indice topographique d'humidité (TWI), essentiels pour la caractérisation des zones potentiellement humides.

2.2 MÉTHODES

2.2.1 INDICE NORMALISÉ DE VÉGÉTATION (NDVI)

Le NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) est un indice permettant de générer une image représentant le niveau d'activité photosynthétique et de biomasse de la couverture végétale. Il s'agit d'une mesure du bilan de l'énergie reçue et de l'énergie émise par les objets sur la Terre. Le NDVI a été utilisé dans plusieurs travaux de recherches pour définir la végétation des zones humides en général et des bas-fonds en particulier [19]; [4]. L'indice normalisé de végétation est donné par l'équation 1:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (Eq. 1)$$

Où NIR représente la réflectance dans le proche infrarouge et **R** dans le canal rouge.

Les valeurs du NDVI s'étendent de -1 à 1. L'interprétation des images est faite en tenant compte des hypothèses suivantes:

- Les valeurs très basses de NDVI (< 0,1) correspondent aux espaces sans végétation tels que les affleurements rocheux, le sable ou la neige;
- Les valeurs modérées (0,2 à 0,3) représentent les zones arbustives et de prairie, alors que les valeurs élevées (0,5 à 0,8) signalent une végétation dense abondante.

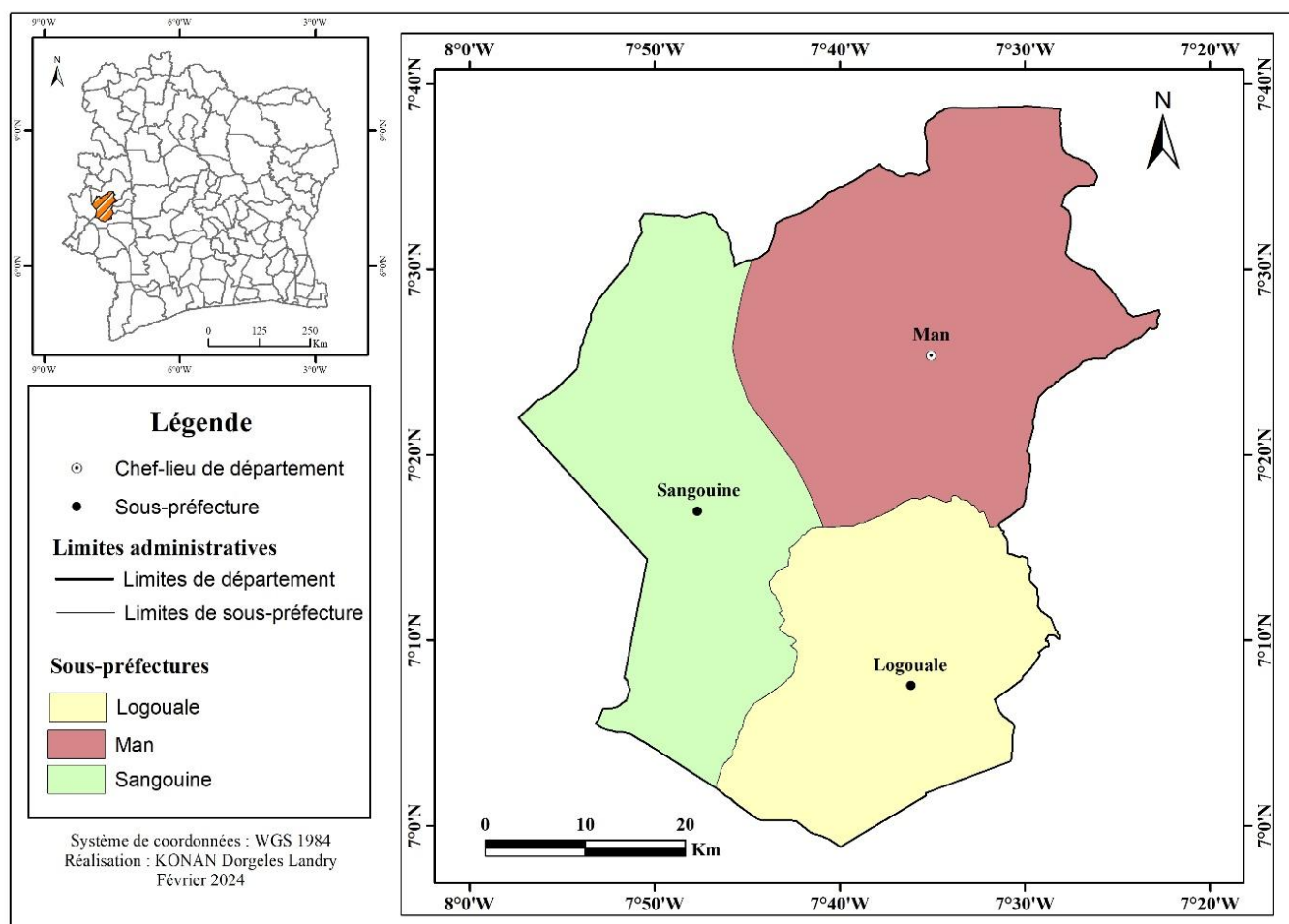


Fig. 1. Localisation du département de Man

La visualisation de la réponse a permis de distinguer la végétation, notamment celle caractéristique des milieux humides.

2.2.2 INDICES D'HUMIDITÉ (NDMI)

L'indice normalisé d'humidité indique les variations d'humidité du sol, étant fortement corrélé avec la teneur en eau de la végétation et constituant un bon indicateur du changement végétal [15]. Le NDMI est calculé en utilisant les bandes du proche infrarouge (NIR) et de l'infrarouge à ondes courtes (SWIR1), selon l'équation 2:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR1}{NIR + SWIR1} \text{ (Eq. 2)}$$

Le NDMI est un indice spectral approprié pour caractériser les variations d'humidité dans le sol et dans la végétation. Les valeurs varient de -1 à 1. Les valeurs positives et plus proches de 1 représentent un contenu en humidité élevée caractérisant une végétation saine et bien hydratée et plus proches de -1 constituent les niveaux de faible humidité qui caractérisent une végétation sèche, mettant en évidence les zones manquant d'eau.

2.2.3 INDICES TOPOGRAPHIQUES

Le TWI en français l'Indice d'Humidité Topographique connu encore sous le nom d'Indice de Beven-Kirkby (IBK) a été développé par [2]. C'est un indice classique d'intérêt dans la quantification de l'effet de la topographie sur les processus hydrologiques en particulier l'engorgement des sols. Ainsi, il permet d'évaluer l'influence de la topographie

sur la potentialité d'une zone humide. Le TWI a été utilisé dans plusieurs travaux pour la détection des milieux humides [10]. Il est plus performant et recommandé dans les zones de collines à montagneuses. De plus il se révèle plus pertinent pour estimer les zones hydromorphes de bas-fonds (Aurrousseau et Squidant, 1995). L'indice d'humidité topographique s'étend de 0 à 30. Il est obtenu à partir de l'équation 3:

$$TWI = \ln\left(\frac{A}{\tan\beta}\right) \text{ (Eq. 3)}$$

A: Surface amont drainée (drainage naturel) en ce point (m²)

β: Angle en radians de la pente le long de la direction du flux.

2.3 IDENTIFICATION DES ZONES DE BAS-FONDS

Les indices de végétation, d'humidité et topographique précédemment évoqués ne peuvent être exploités de manière optimale dans l'identification des bas-fonds s'ils sont considérés isolément. Afin d'inventorier les zones humides de bas-fonds dans le département de Man et de réduire considérablement les marges d'erreur, ces indices sont combinés et superposés selon des seuils de valeurs définis. Les seuils de valeurs des indices utilisés pour identifier les zones de bas-fonds ont été définis à partir de l'interprétation visuelle des différents indices, en s'appuyant sur les quelques bas-fonds inventoriés sur le terrain et à partir de Google Earth. Le tableau 1 présente l'étendue et les valeurs retenues pour les indices considérés comme critères d'identification.

Tableau 1. Critères d'identification des zones humides de bas-fonds

Indices	Type	Étendue	Valeurs retenues
Végétation	NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	-1 à 1	0,4 à 0,72
	NDMI (Normalized Difference Moisture Index)	-1 à 1	0,10 à 0,39
Humidité	TCW (Tasseled-Cap Wetness Index)	-8855,56 à -399,43	Supérieur à -2000
	MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)	-1 à 1	-0,25 à 0,06
Topographique	Pente	0 à 100%	Inférieure ou égale à 2%
	TWI (Topographic Wetness Index)	0 à 30	Supérieur à 8,4

Comme indiqué précédemment, l'identification des zones potentielles de bas-fonds est réalisée à partir de la combinaison et la superposition des critères préalablement définis à partir des seuils de valeurs retenus. À cet effet les opérations booléennes du logiciel ArcGIS ont été utilisées. Du résultat issu de la combinaison des indices de végétation, d'humidité et de la topographie, sont extraits les zones de bas-fonds aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha selon le DIARPA [7].

3 RÉSULTATS

3.1 INDICE DE VÉGÉTATION

L'indice de végétation (NDVI) calculé à partir des images Sentinel-2 a permis de décrire l'activité chlorophyllienne et de suivre la végétation des bas-fonds dans le département de Man en période de saison sèche. La figure 2 illustre la distribution de la végétation dans le département de Man. Les zones de forte réflectance (fortes valeurs de NDVI) correspondent à la présence de végétation dense à très dense.

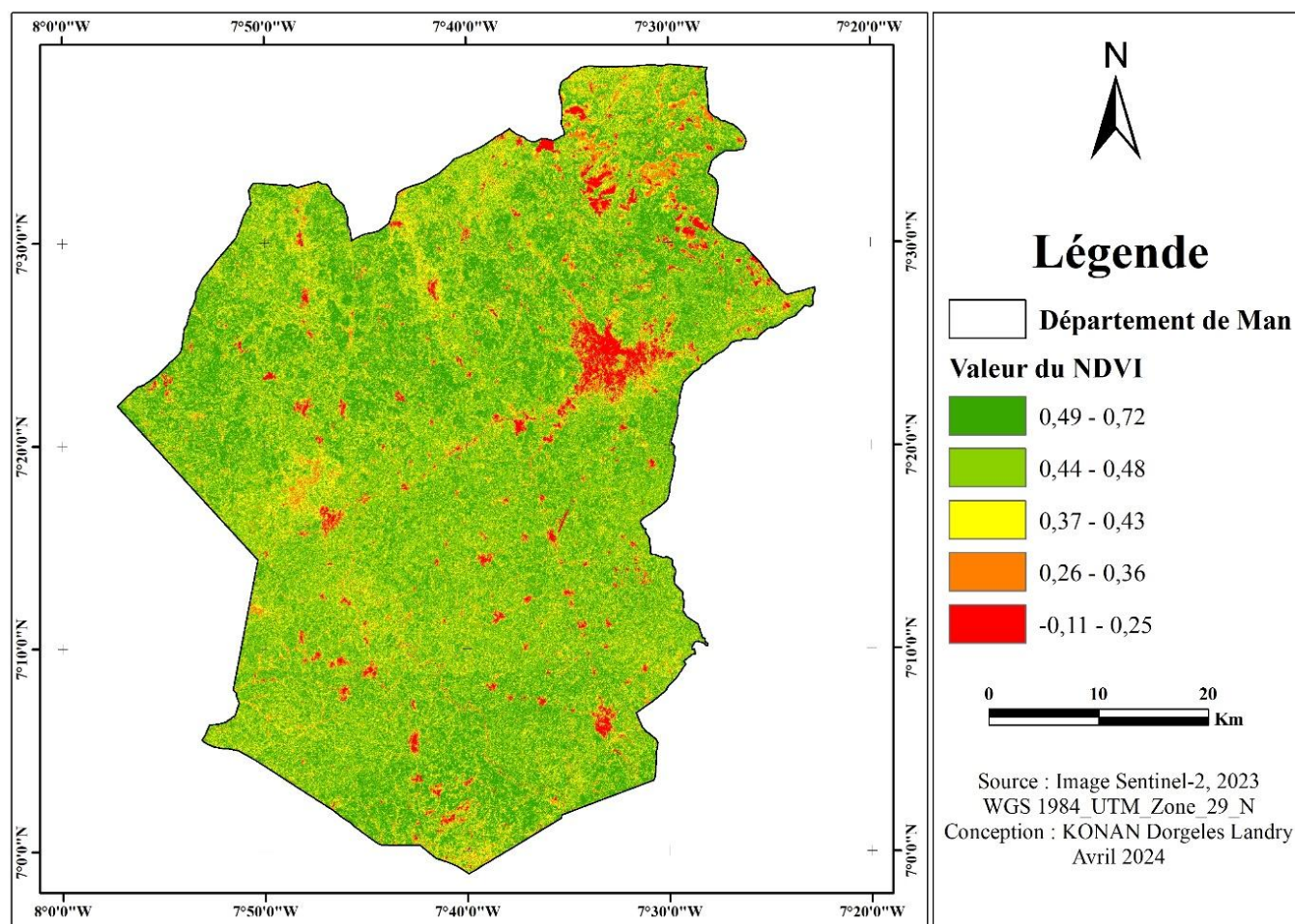


Fig. 2. Indice Normalisé de végétation de Décembre 2023 du département de Man

Dans cette étude la valeur de NDVI supérieur à 0,4 a été choisie comme seuil de valeurs pour la définition des zones de bas-fonds. La valeur de NDVI supérieur à 0,4 indique la réflectance d'une végétation dense, caractéristiques des zones de bas-fonds.

3.2 INDICE D'HUMIDITÉ

Les bas-fonds sont typiquement des zones où l'humidité du sol et de la végétation est élevée en raison de la présence de nappe proche de la surface ou de l'accumulation d'eau de ruissellement. Afin d'évaluer l'humidité du sol et de la végétation dans le département de Man en saison sèche, nous avons calculé à partir des images Sentinel-2 le NDMI, le TCW dont les résultats sont présentés ci-dessous.

La figure 3 nous présente la spatialisation de l'indice d'humidité normalisé du département de Man en saison sèche. L'analyse montre que le département de Man est une région très humide dans sa globalité. La valeur du NDMI est comprise entre -0,27 et 0,39.

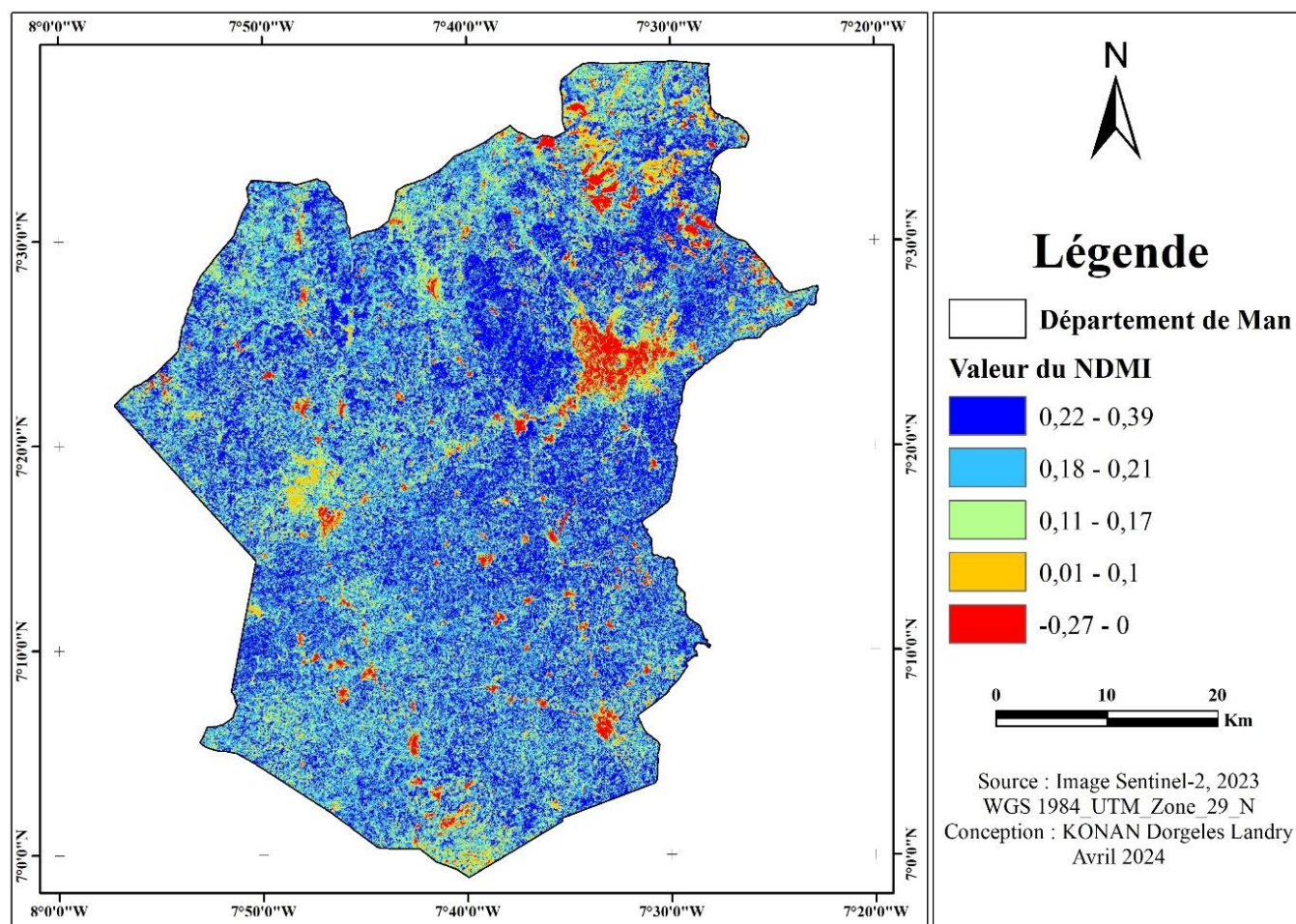


Fig. 3. Carte de la répartition spatiale du NDMI dans le département de Man

Dans notre étude, pour une identification optimale des potentielles zones de bas-fonds, le seuil de valeur de NDMI fixé est 0,10. Ainsi toutes les zones du département où la valeur du NDMI est supérieure à 0,10 ont été extraites et considérées comme nos régions humides. Ces zones occupent environ 87% du département.

La figure 4 nous présente la carte thématique du TCW qui a permis de savoir les zones qui peuvent être considérées comme des zones humides. Les valeurs les plus élevées de TCW correspondent à ces zones. Dans notre étude, le TCW calculé à partir des images Sentinel-2 du 23 décembre 2023 oscille entre -8855,56 et -399,43.

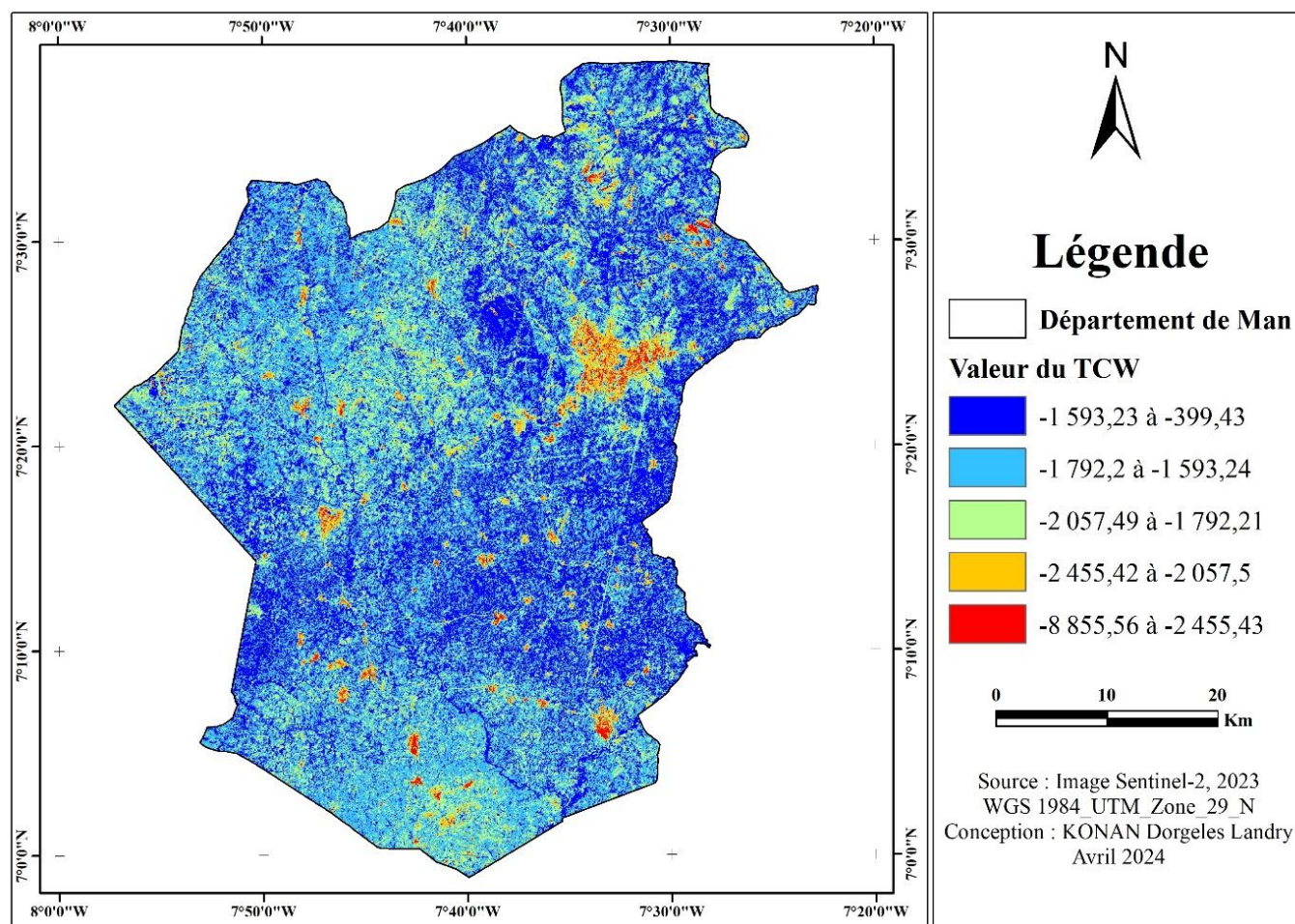


Fig. 4. Carte du TCW du département de Man en Décembre 2023

3.3 INDICES TOPOGRAPHIQUES

Les indices topographiques utilisés dans cette étude pour l'inventaire des bas-fonds dans le département de Man sont très importants. Car ils conditionnent l'accumulation d'eau ou la saturation de ces paysages de bas-fonds. Il s'agit de la pente (ondulation du relief) et le TWI (Topographic Wetness Index).

Les pentes du secteur d'étude extraites du DEM ASTER montrent les différentes facettes topographiques (endroits élevés et bas). La figure 5 présente la carte des pentes en pourcentage de notre zone d'étude. Ici, la valeur des pentes varie de 0 à 84,4% et indique la présence des ondulations de terrain qui contribuent à la mise en place des paysages de bas-fonds. La pente des bas-fonds est faible et doit être inférieure ou égale à 2 % pour faciliter la mise en place des ouvrages d'aménagements hydroagricoles techniquement et économiquement rentables. Une reclassification en pente faible (pente inférieure à 2 %) et pente forte (pente supérieure à 2 %) a été effectuée (figure 6).

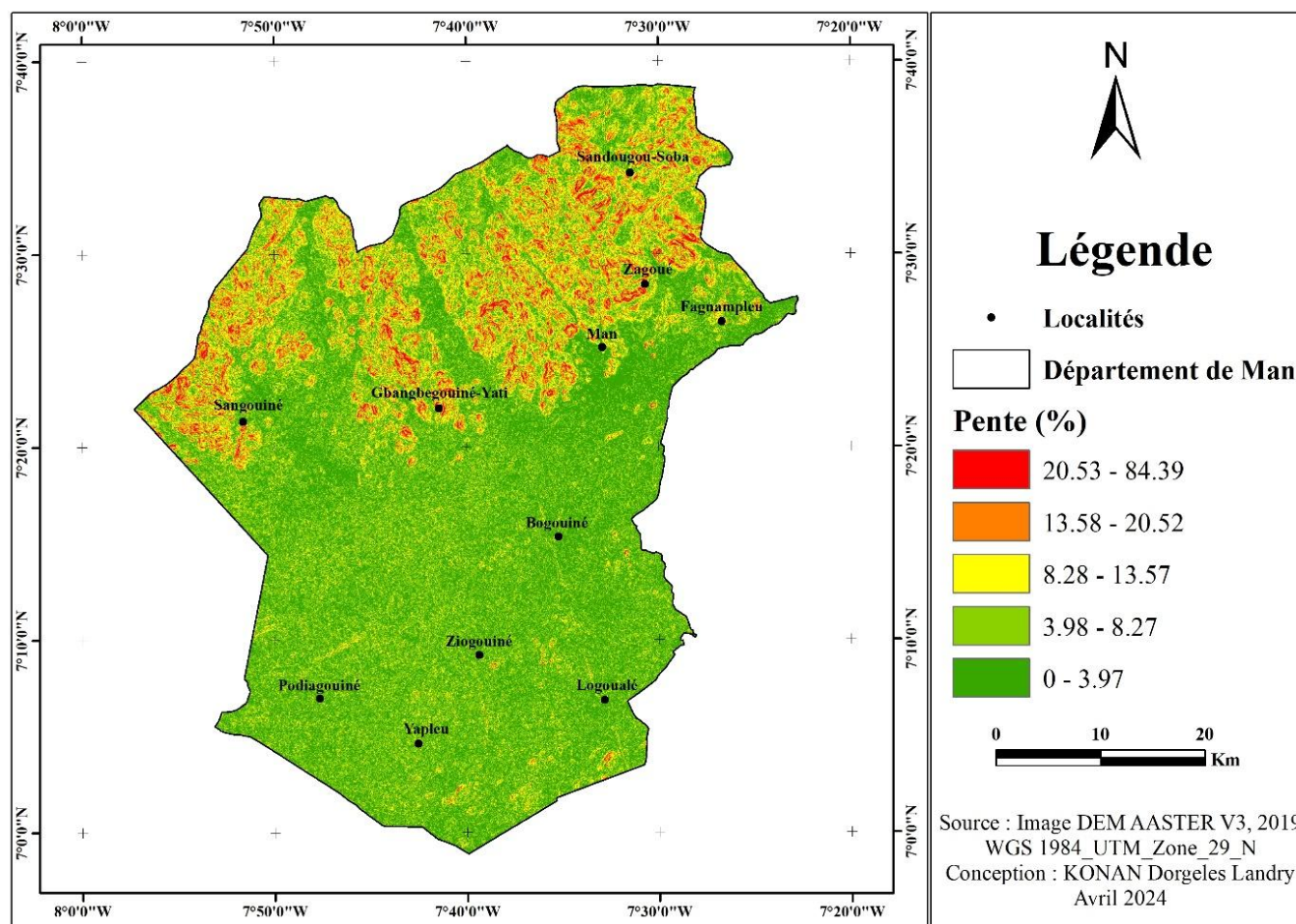


Fig. 5. Pentes en pourcentage du département de Man

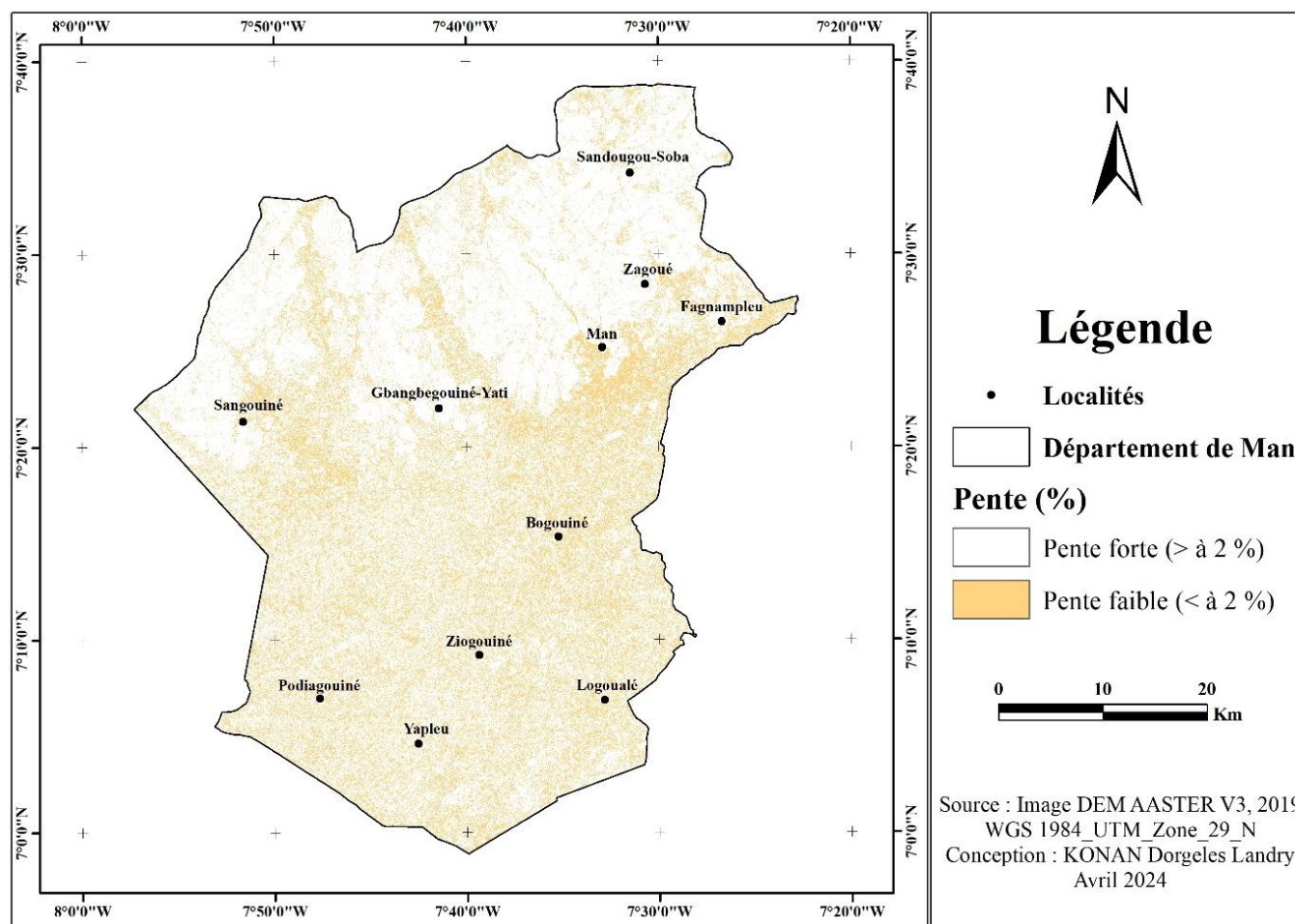


Fig. 6. Pentes reclassifiées du département de Man

La figure 7 présente les zones du département de Man capables d’être occupées par des sols hydromorphes ou non sur la base des valeurs du TWI.

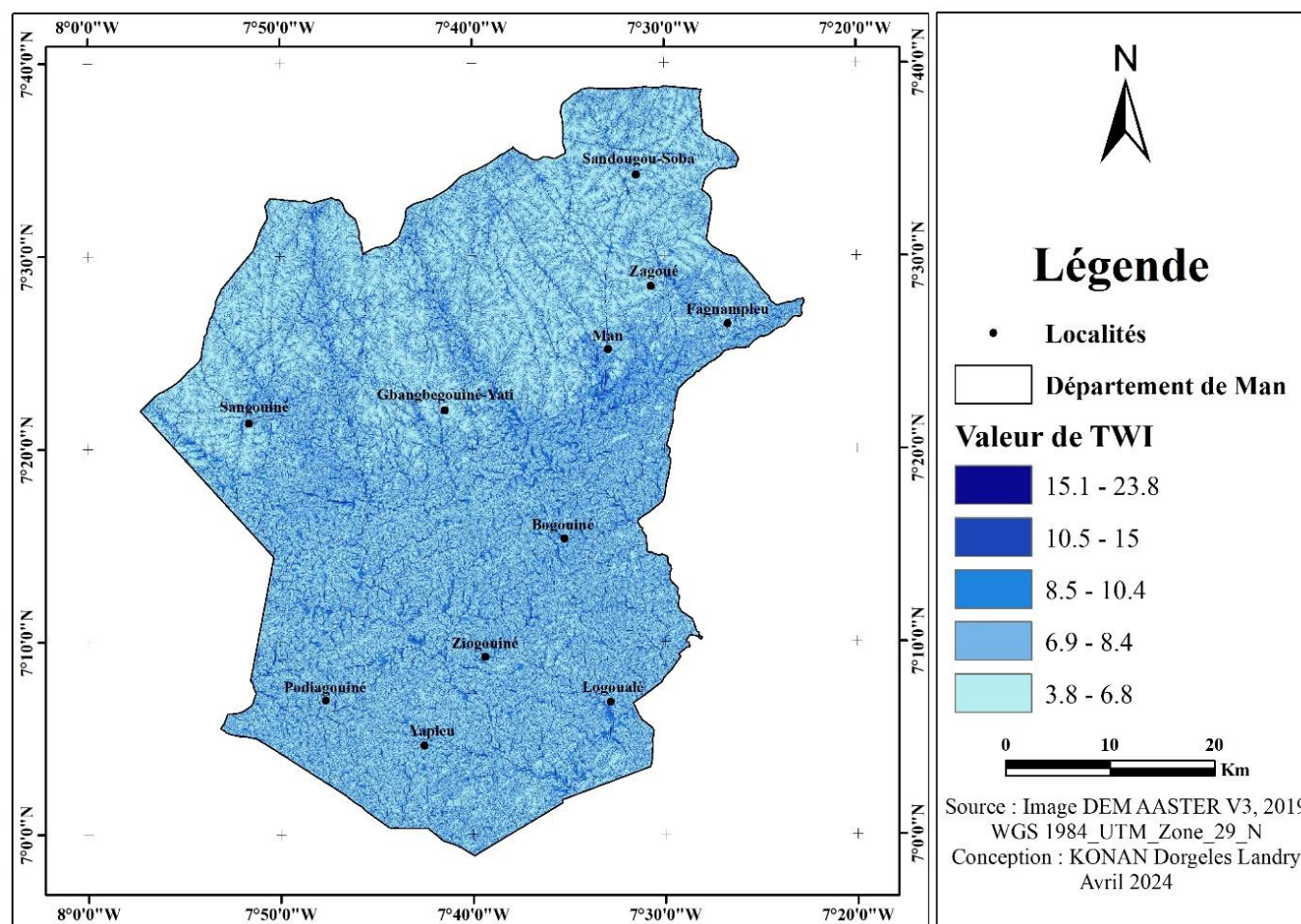


Fig. 7. Indice d'humidité topographique dans le département de Man

3.4 POTENTIALITES EN BAS-FONDS DU DEPARTEMENT DE MAN

L'analyse multicritère des indices de végétation (NDVI), d'humidité (NDMI, TCW) et topographique (pente et TWI) préalablement établis a permis d'extraire le potentiel en bas-fonds du département de Man à travers une superposition booléenne dans le logiciel ArcGIS. La figure 8 présente les potentialités en bas-fonds du département de Man. Son analyse révèle que notre zone d'étude est pourvue en bas-fonds couvrant une superficie d'environ 31100 ha. Les bas-fonds inventoriés dans le département de Man sont au nombre de 121 584 et occupent 12 % du territoire. L'analyse de la carte des bas-fonds permet de noter que les plus grands bas-fonds du département de Man sont à proximité des cours d'eau voir dans le lit majeur des cours d'eau.

3.5 VALIDATION DES RÉSULTATS

L'approche d'inventaire dans cette étude utilise les méthodes de télédétection et de SIG. Cette approche peut donner des résultats conformes ou pas de la réalité ou du terrain. Par conséquent une validation des bas-fonds inventoriés par cette approche se montre capitale. Pour valider les résultats du potentiel en bas-fonds de notre zone d'étude, nous avons digitalisé vingt (20) bas-fonds dans la sous-préfecture de Man à partir de Google Earth. La figure 9 présente quelques-uns des bas-fonds digitalisés. Ces bas-fonds digitalisés sont importés dans ArcGIS puis rastérisés. Cette couche de bas-fonds digitalisés est superposée à la couche des bas-fonds inventoriés par la méthode d'inventaire. Les bas-fonds digitalisés sont en rouge et les bas-fonds inventoriés sont en vert. L'analyse de la figure 10 révèle que la totalité des bas-fonds digitalisés se superpose avec exactitude sur les bas-fonds inventoriés, soit 100% des bas-fonds digitalisés correspondent aux bas-fonds inventoriés.

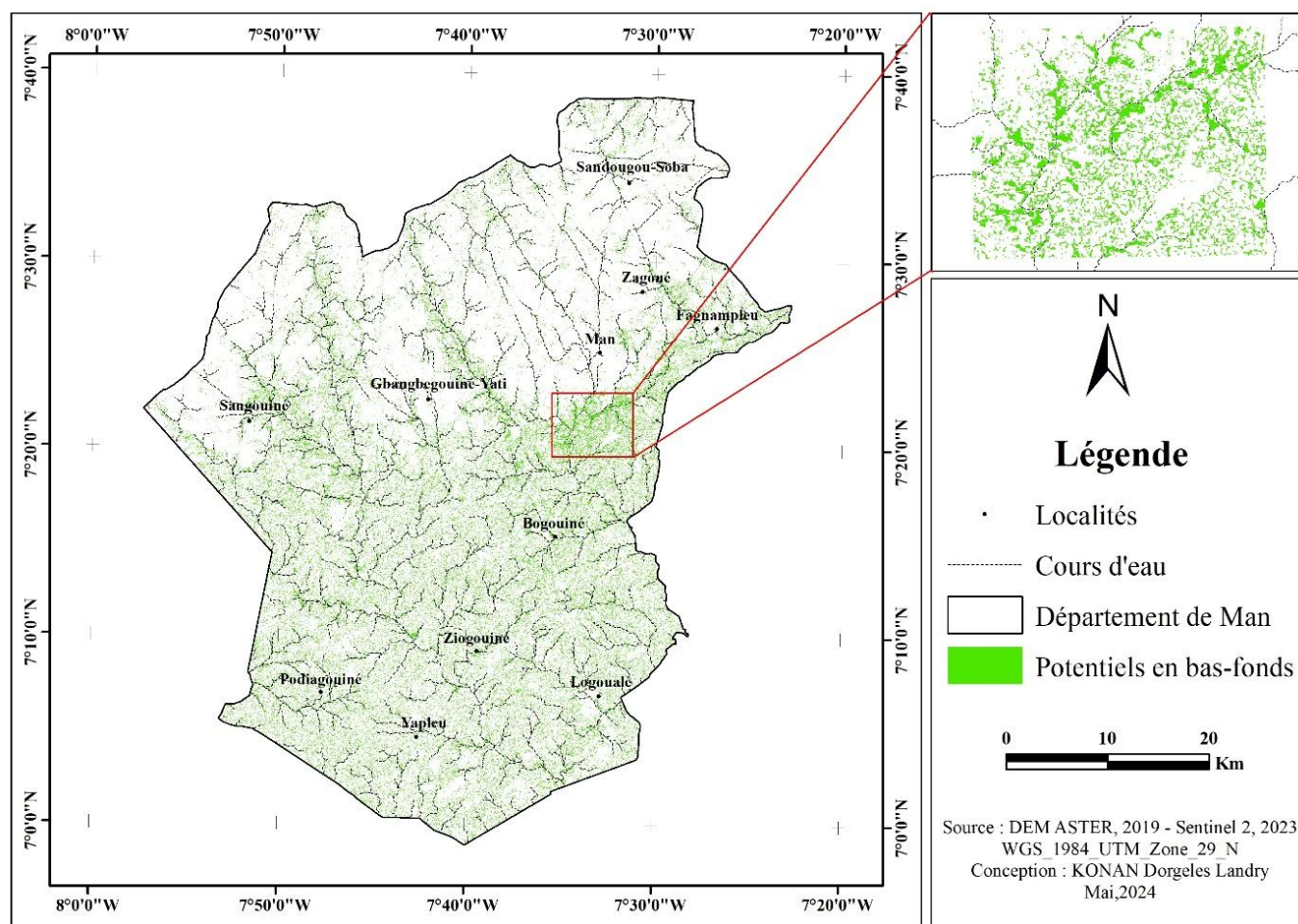


Fig. 8. Potentialités en bas-fonds du département de Man



Fig. 9. Images de quelques bas-fonds dans la ville de Man

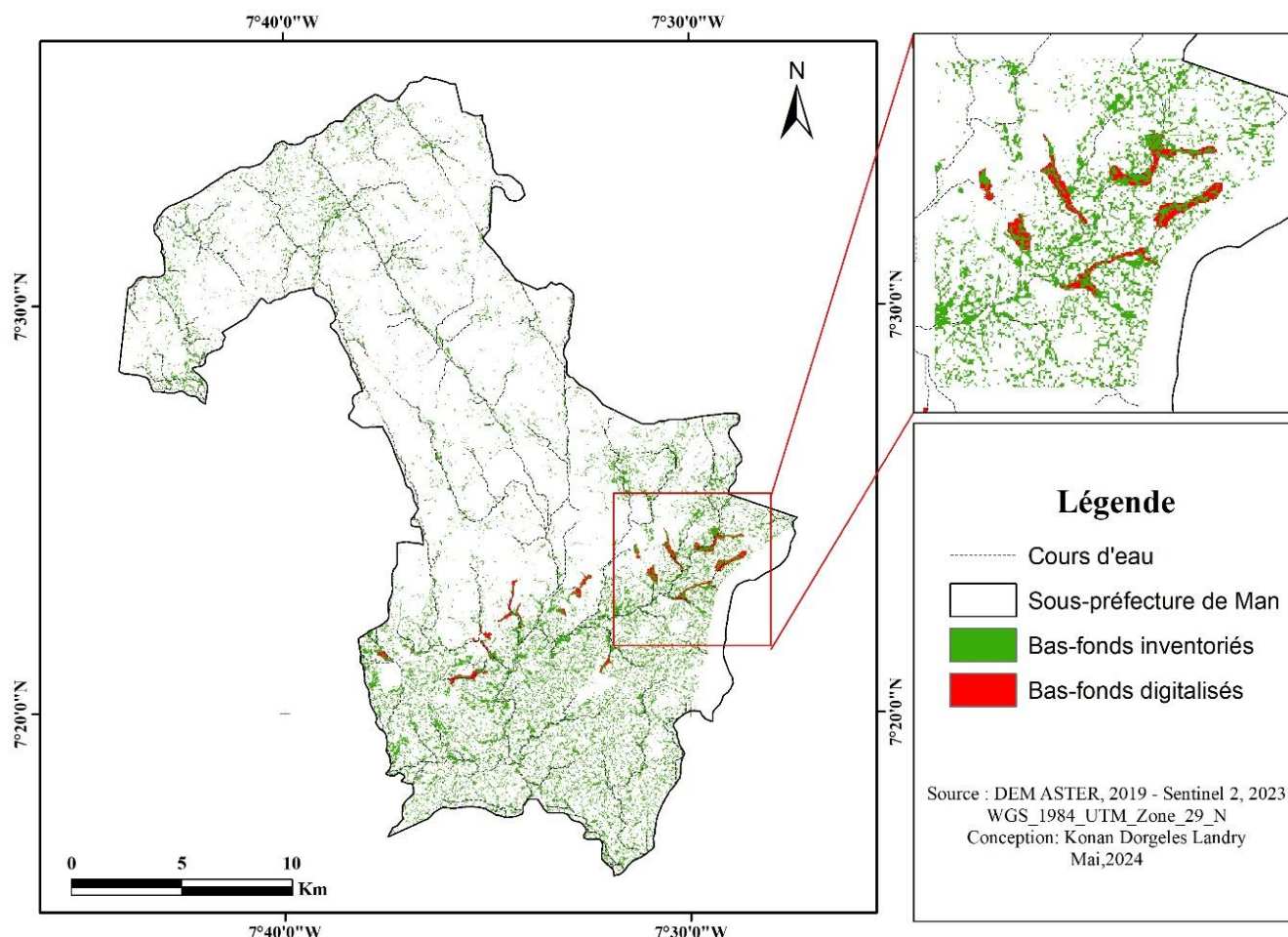


Fig. 10. Carte de validation des bas-fonds inventoriés dans le département de Man

4 DISCUSSION

L'inventaire des bas-fonds peut se faire de différentes manières selon plusieurs études. La mise en évidence des bas-fonds à partir des données de terrain permet de les inventorier avec exactitude et de mieux les caractériser. Mais cette méthode d'inventaire présente des limites quand il s'agit de recenser de façon exhaustive le potentiel en bas-fonds d'une vaste zone d'étude, comme c'est le cas dans ce travail. Plusieurs programmes d'inventaire des potentiels bas-fonds à partir de terrain ont été effectués au Bénin dans les départements de l'Atocora-Donga. En 2002, les départements de l'Atocora-Donga étaient pourvus de 56000 ha de bas-fonds selon les statistiques [3]. Par contre en 2011, un autre recensement a identifié près de 78000 de bas-fonds. Afin de repousser les limites de l'inventaire par terrain, il est nécessaire de recourir aux données satellitaires. De plus, cette méthode est onéreuse et demande assez de moyens et de temps. Une autre méthode d'inventaire des bas-fonds est une approche à partir des données de télédétection. Cette méthode d'inventaire a fait l'objet de plusieurs travaux de recherches et même pour l'inventaire des zones humides en général [19]. Cette méthode fait ressortir le potentiel en bas-fonds d'une zone à partir des images issues de la télédétection en se basant sur la définition de paramètres d'identification selon une méthode de traitement automatique et élaboré et assisté par ordinateur [17].

La méthode d'inventaire du potentiel en bas-fonds dans le cadre de cette étude couple télédétection et Système d'Information Géographique. Cette approche méthodologique s'est montrée plus rapide, moins onéreuse et très efficace. Elle a permis de connaître de façon exhaustive les potentiels bas-fonds de notre zone d'étude et par ricochet ceux aménageables. Cela confirme les conclusions tirées par [17] dans une étude d'inventaire et de caractérisation des bas-fonds du bassin versant de l'Oti au Bénin. L'estimation du potentiel en bas-fonds a tenu compte de cinq critères à savoir la pente, le NDVI, les zones d'accumulation d'eau, le NDWI et le Tasseled-cap Wetness Index. Dans la présente étude, certains des critères choisis par [17] ont été utilisés. Il s'agit de la pente, le NDVI et le Tasseled-Cap

Wetness index. En revanche, le NDWI a été remplacé par le MNDWI et les zones d'accumulation par le TWI (Topographic Wetness Index). L'ensemble de ces paramètres choisis dans le cadre de notre étude sont regroupés en trois indices à savoir les indices de végétation, d'humidité et de topographie. Le choix des indices topographiques et d'humidité est guidé par les résultats de [5]. Ces résultats révèlent que les conditions géomorphologiques et hydrologiques sont les deux aspects les plus déterminants dans la répartition des zones humides. Les conditions géomorphologiques et hydrologiques associées à la végétation sont très efficaces dans l'inventaire des zones humides de bas-fonds, car la végétation est un facteur primordial dans la définition des zones de bas-fonds. D'où le choix de l'indice de végétation (NDVI) dans notre étude. Le choix de remplacer le paramètre zone d'accumulation d'eau utilisée dans les travaux de [17] par l'indice d'humidité topographique est guidé par les études qui présentent le TWI comme très pertinent pour estimer les zones hydromorphes des bas-fonds. Cet indice s'est montré effectivement très pertinent dans la présente étude.

Cette méthode d'inventaire des zones humides de bas-fonds développée a permis de répertorier tous les bas-fonds du département de Man et d'en extraire ceux aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha. Le département de Man est pourvu de 121 584 bas-fonds couvrant une superficie de 31100 ha, soit 12 % du territoire. La quasi-totalité de ces bas-fonds inventoriés sont facilement aménageable tel que défini par le DIARPA qui considère un bas-fond économiquement et techniquement lorsque sa superficie est inférieure ou égale à 25 ha [4]. Ces bas-fonds peuvent être déjà mis en valeur, car ils présentent des conditions hydrologiques et morphologiques qui correspondent aux critères de mise en valeur des bas-fonds.

À la lumière des résultats obtenus puis validés, il apparaît évident que l'utilisation des images Sentinel-2 couplées à l'image DEM ASTER peut être proposée pour les études d'identification des zones humides de bas-fonds. Cela corrobore les études menées par [18] qui a utilisé les images SRTM, ETM+, Modis et Ikonos dans l'identification des zones humides des grands bassins hydrographiques de l'Afrique. La démarche méthodologique de cartographie des bas-fonds ici présentée est une méthode facile à mettre en application d'un point de vue informatique et offre une multitude d'outils d'aide à l'interprétation des données. Les résultats obtenus à l'issue de cette méthode sont satisfaisants. La méthode d'inventaire dans ce travail s'est montrée plus rapide que la méthode classique qui consiste à aller directement sur le terrain et de faire des levés directs et systématiques qui nécessiterait plus de temps, de coût et de moyen surtout si la zone à couvrir est vaste.

Cette méthode d'inventaire développée dans cette étude est très efficace et fiable pour répertorier les bas-fonds du département de Man. Cependant, elle n'inventorie pas avec assez de précision les bas-fonds dans les zones fortement urbanisées. Cela est dû à la résolution spatiale de nos images satellitaires. Pour inventorier avec plus de précision les zones humides de bas-fonds à l'aide de la télédétection et des SIG, l'utilisation des images de très haute résolution spatiale telles que les images SPOT, Lidar ou Quickbird de résolution spatiale inférieure à 5 m est nécessaire. De plus, cette approche méthodologique ne permet pas de caractériser les bas-fonds inventoriés pris de façon individuelle. Elle ne permet pas une caractérisation pédologique et hydrologique effective des bas-fonds inventoriés. Il est donc indispensable de compléter ce travail par une prospection sur le terrain de ces bas-fonds.

La carte de localisation géographique des bas-fonds du département de Man réalisée dans ce travail est un instrument d'aide et intervient en amont de toutes interventions des acteurs (nationaux et internationaux) pour la réalisation des ouvrages d'aménagements hydroagricoles afin de contribuer à leur mise en valeur dans ce contexte de changement climatique.

5 CONCLUSION

L'approche méthodologique développée dans cette étude a permis l'inventaire des bas-fonds dans le département de Man. Il s'agit d'une analyse multicritère qui a combiné les indices de végétation (NDVI), d'humidité (NDMI, TCW et MNDWI) et de topographie (TWI et pente). L'analyse de ces six critères d'identification des zones humides de bas-fonds tels que définis dans cette étude a pris en compte les zones de pentes inférieure ou égale à 2 %, de forte humidité de sol et ayant une végétation dense (valeur de NDVI supérieure ou égale à 0,3). Elle a montré le potentiel en bas-fonds du département de Man ainsi que ceux facilement aménageables dont la superficie est inférieure ou égale à 25 ha. Au total, 121 584 bas-fonds ont été inventoriés dans le département de Man. Ceux-ci couvrent une superficie de 31100 ha soit 12 % du département de Man. La quasi-totalité des bas-fonds inventoriés est aménageable. Les vingt bas-fonds pris dans la sous-préfecture de Man et digitalisés à partir de Google Earth ont permis de valider nos résultats. La totalité des 20 bas-fonds se superpose parfaitement avec les bas-fonds inventoriés. Cette méthode d'inventaire présente une fiabilité telle qu'elle mérite d'être généralisée à l'ensemble du territoire ivoirien. Cette

approche est simple, plus rapide et moins onéreuse en ce sens qu'elle permet de relever en un temps record, et ce de façon exhaustive les bas-fonds et de réduire le coût des phases de terrain d'une zone donnée. Cependant, bien qu'elle soit simple et moins coûteuse, elle nécessite des travaux de terrain complémentaires afin de cerner les caractéristiques socio-économiques et biophysiques des bas-fonds inventoriés. Tout cela dans le but de fournir une base de données suffisamment complète des bas-fonds et de mettre en place un outil d'aide à la décision pour tout acteur voulant intervenir dans les bas-fonds pour les projets d'aménagements, de mise en valeur tels que les projets d'aménagement hydroagricoles.

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude au Directeur de l'UFR des Sciences Géologiques et Minières de l'Université Polytechnique de Man pour son soutien constant et sa disponibilité tout au long de cette recherche. Je remercie également tous les coauteurs pour leur participation active, leurs retours pertinents et leur engagement; leur collaboration a grandement enrichi la qualité et la rigueur de cet article.

REFERENCES

- [1] Andriesse W. & Fresco L.O. (1991). A Characterization of Rice-growing Environments in West Africa. *Agric Ecosys and Environ*; 33: 377-95.
- [2] Beven, K. J. & Kirkby M. J. (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology/Un modèle à base physique de zone d'appel variable de l'hydrologie du bassin versant. *Hydrological sciences journal*, 24 (1): 43-69.
- [3] CBF/DGR, (2002). Inventaire et mise en valeur des bas-fonds au Bénin, Direction du Génie Rural (DGR) / MAEP, Porto-Novo-Bénin, 69 p.
- [4] 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.
- [5] Hubert-Moy L., Houet T., Lefeuvre E., Clément, B. & Lennon, M. (2003). Étude de zones humides à partir d'images hyper-spectrales CASI: application aux fonds de vallées du massif Armorica. *Photo interprétation (Paris)*, 39 (1): 33-43.
- [6] INS (2021). Institut National de la Statistique: Recensement général de la population et de l'habitat 2021, 19p.
- [7] Jamin J.Y., Biau F., Legoupil J.C. & Lidon B. (2002). Le Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement (DIARPA): un outil d'aide à la décision pour les aménagements de bas-fonds. In *Mémento de l'agronome*, Paris, Montpellier: Gret, Cirad, 2002, (cédérom).
- [8] Kouamé K. F. (2011). Influences de la variabilité climatique et de la dégradation environnementale sur le fonctionnement de l'hydrosystème du N'Zo dans la région guinéenne humide et semi-montagneuse de la Côte d'Ivoire. Contribution de la télédétection, des Systèmes d'Informations Géographiques et du modèle hydrologique HYDROTEL. Thèse de Doctorat d'État ès Sciences Naturelles. Université de Cocody, Abidjan, (Côte d'Ivoire), 374 p.
- [9] 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.
- [10] O'Neil G. L., Goodall J. L. & Watson L. T. (2018). Evaluating the potential for site-specific modification of LiDAR DEM derivatives to improve environmental planning-scale wetland identification using Random Forest classification. *Journal of hydrology*, 559: 192-208.
- [11] Oloukoi J. (2005). Dynamique de l'occupation du sol dans le département des collines et impacts sur l'utilisation des bas-fonds. Mémoire de Diplôme d'Etude Approfondie (DEA), UAC, 84 p.
- [12] Perraud. (1971). La matière organique des sols forestiers de la côte d'Ivoire: relations: sol-végétation-climat (Doctoral dissertation, ORSTOM), 87 p.
- [13] Rapinel S. (2012). Contribution de la télédétection à l'évaluation des fonctions des humides: de l'observation à la modélisation prospective. Thèse de l'Université de Bretagne, 384 p.
- [14] Raunet M. (1985). Bas-fonds et riziculture en Afrique; approche structurale et comparative. *Agronomie Tropicale*, 40: 181-201.
- [15] Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A. & Deering D. W. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA Spec. Publ*, 351 (1): 309 p.
- [16] Souberou K. (2013). Contribution de la télédétection et du SIG à la caractérisation des bas-fonds de la commune de Matéri (Nord-Ouest, Bénin). Mémoire de Master en Science de la Géo-Information, Université d'ObafemiAwolowo au Nigéria, Centre Régional de Formation aux Techniques des Levés Aérospatiaux (RECTAS), 135p.
- [17] 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.
- [18] Thenkabail P. S. (2013). Remote Sensing of Inland Valley Wetlands of Africa: their Pivotal Role in Africa's Green and Blue Revolution, Research Geographer (pthenkabail@usgs.gov), U.S. Geological Survey (USGS), Flagstaff Science Center, USA NASA LCLUC Meeting, Rockville, Maryland, USA, 62 p.
- [19] Vacquié L. & Houet T. (2012). Cartographie des zones humides de montagnes par télédétection. Potentialités des images à très haute résolution spatiale. *Revue internationale de géomatique*, 4: 497-518.

- [20] Kobenan Etienne BINI, Kouadio Christophe N'DA, Augustin Tiyébo TOURE (2023) ° « Changement climatique et dégradation des zones humides: vers un assèchement des bas-fonds des régions du centre de la Côte d'Ivoire », *Revue Espaces Africains* (En ligne), 3 | 2023 (Varia), ISSN: 2957-9279, mis en ligne le 30 décembre 2023, p. 39-55.
- [21] Dixon, AB; Wood, AP. Culture des zones humides et gestion hydrologique en Afrique de l'Est: Adaptation des besoins communautaires et hydrologiques grâce à une utilisation durable des zones humides. *Forum national des ressources* 2003, 27, 117–129. [Google Scholar], [CrossRef].
- [22] Beuel, S.; Alvarez, M.; Amler, E.; Behn, K.; Kotze, D.; Kreye, C.; Leemhuis, C.; Wagner, K.; Willy, DK; Ziegler, S. 2016; Évaluation rapide des perturbations anthropiques dans les zones humides d'Afrique de l'Est. *Ecol. Indic.* 2016, 67, 684–692. [Google Scholar], [CrossRef].