

DELIMITATION DES ZONES HUMIDES DANS LE DEPARTEMENT DE BOUAKE EN CÔTE D'IVOIRE A L'AIDE DE LA TELEDETECTION

Salia Christian GOUHE

Département de Géographie
Université Alassane Ouattara Côte d'Ivoire
gouhesalia@gmail.com

Résumé

L'exploitation des zones humides a considérablement augmenté en nombre et en superficie ces dernières années surtout pour l'agriculture à cause du caractère hydromorphe du sol. Ces écosystèmes fournissent de l'eau pour les cultures et le bétail et aident à protéger les cultures contre les inondations et les sécheresses. L'identification des zones humides devient donc nécessaire et vitale pour une agriculture qui se doit d'être intensive vu la population urbaine sans cesse galopante. Cet article a pour objet de présenter une méthodologie de détermination du potentiel en zones humides du département de Bouaké situé au centre du bassin versant du Bandama. La méthodologie se base sur une réflexion relative aux facteurs physiques susceptibles de favoriser la mise en place de tels milieux. Elle repose sur une méthode semi-automatique qui a pris en compte les indices de végétation et de topographie (NDVI, NDWI et TPI) et les paramètres de pente, d'accumulation de l'eau et du réseau hydrographique. Ces facteurs sont d'ordre topographique, géomorphologique et hydrologique. L'analyse et la superposition de tous ces critères ont permis une estimation du potentiel en zone humide du département de Bouaké. L'ensemble de ces écosystèmes déterminés par notre analyse couvre une superficie de 15266 hectares (152,66 km²) soit 4,5% de la superficie totale de notre zone d'étude. Le nombre total de zones humides identifiées dans le département de Bouaké par cette méthode s'élève à 35039.

Mots clés : zone humide, détermination, télédétection, SIG, Bouaké

Summary

The use of wetlands has considerably increased in number and surface area in recent years, especially for agriculture due to the hydromorphic nature of the soil. These ecosystems provide water for crops and livestock and help protect crops from floods and droughts. The identification of wetlands therefore is becoming necessary and vital for agriculture which must be intensive given the constantly growing urban population. The purpose of this article is to present a methodology for determining the wetland potential of Bouaké department located in the center of the Bandama watershed. The methodology is based on a reflection on the physical factors likely to favor the establishment of such environments. It is based on a semi-automatic method which took into account the vegetation and topography indices (NDVI, NDWI and TPI) and the parameters of slope, water accumulation and the hydrographic network. These factors are topographical, geomorphological and hydrological. The analysis and superposition of all these criteria made it possible to estimate the wetland

potential of Bouaké department. All of these ecosystems determined by our analysis cover an area of 15,266 hectares (152.66 km²) or 4.5% of the total area of our study area. The total number of wetlands identified in Bouaké department by this method is 35,039.

Keywords : *Wetland, determination, remote sensing, GIS, Bouaké.*

Introduction

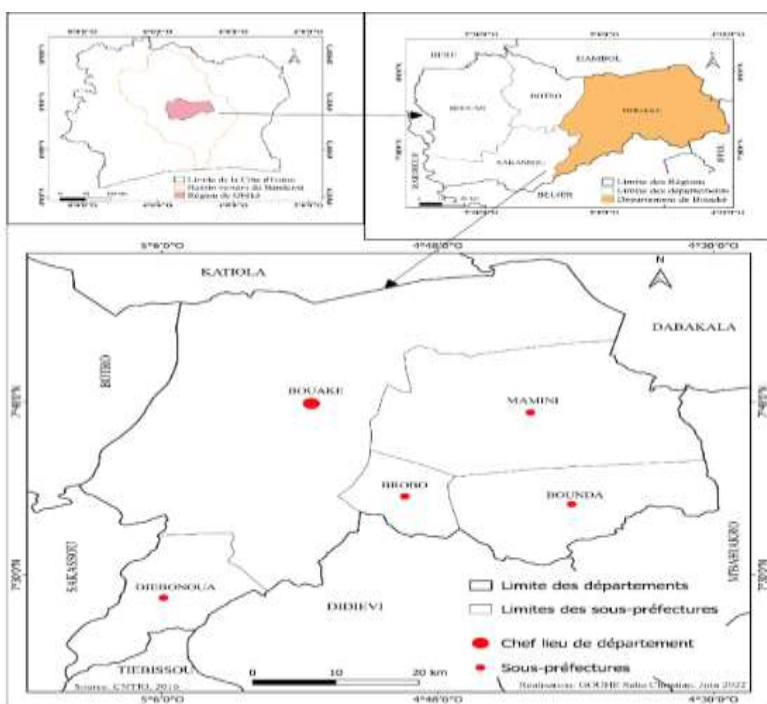
Il est très difficile d'établir une définition universelle des zones humides du fait de leur complexité et de leur diversité. L'expression « Zone humide » provient du terme anglais *wetland*, et désigne les milieux issus d'un contact plus ou moins prolongé avec un plan d'eau (Ménard et al, 2007 : 85). Au plan scientifique, la définition la plus acceptée et utilisée est celle proposée par le USFWS (United States Fish and Wildlife Service) : « un milieu humide est une terre où la nappe phréatique est au niveau, près ou au-dessus de la surface suffisamment longtemps pour promouvoir la formation de sols hydriques, ou pour supporter la croissance d'espèces hydrophytes ». Cette définition scientifique des milieux humides fait intervenir trois éléments clés. Le premier est l'hydrologie à travers le degré d'inondation ou de saturation du sol. Le deuxième est la végétation particulièrement constituée d'espèces hygrophiles, et le troisième est le sol de type hydromorphe qui est un sol dont la chimie et l'apparence sont nettement influencées par la présence d'eau. Ces trois composantes clés décrites par Tiner (2017) sont utilisées dans les classifications américaine, québécoise et canadienne des zones humides. Elles doivent donc être considérées pour définir et délimiter les milieux humides (Bazoge, 2014 : 6). Malgré ces éléments clés, les seuils à atteindre pour qu'un site soit considéré comme un milieu humide ne font pas encore l'unanimité. Il est donc impossible actuellement de retenir une définition unique à cause de la diversité des milieux, des acteurs et de leurs objectifs (Ménard et al, 2007 : 85). L'incapacité de trouver une définition universelle rend difficile la délimitation de ces écosystèmes qui sont de plus en plus importants dans un environnement marqué par les variabilités climatiques. Les zones humides jouent un rôle tampon. Elles ralentissent l'écoulement des eaux en saison de pluie réduisant ainsi le risque de crue (Fustec et Lefeuvre, 2000) cité par (Sartiges, 2013 : 9). Par contre en saison sèche, les milieux humides libèrent une quantité d'eau permettant de limiter un étiage sévère. Ce sont donc des écosystèmes à exploiter pour le développement de l'agriculture dans les pays en voie de développement comme la Côte d'Ivoire. Les zones humides constituent donc un enjeu pour le développement d'un pays qui a axé son développement sur l'agriculture. Or, l'exploitation des zones humides exige une connaissance du potentiel disponible à travers leur spatialisations. Mais malgré les inventaires nationaux par approche de terrain, le niveau de connaissance et de détermination des zones humides reste faible en particulier au centre de la Côte d'Ivoire. N'est-il pas donc nécessaire de faire leur inventaire par une autre méthode afin de disposer d'une source d'information systématique sur ces écosystèmes ?

Alors, quels sont les critères de base pour cette détermination ? Comment fusionner ces critères de base pour une cartographie optimale des zones humides ? L'objectif de la présente étude est de cartographier le potentiel en zones humides du département de Bouaké. Il s'agira d'abord de présenter les critères géomorphologiques de formation de zones humides puis de faire une analyse multicritère afin d'obtenir une carte exhaustive des zones humides du département de Bouaké.

1-Cadre spatial de l'étude

Le cadre spatial de notre étude est le département de Bouaké. Il appartient à la région administrative du Gbêkê et est localisé au centre de la Côte d'Ivoire. Sur le plan hydrologique, notre zone d'étude se situe dans le bassin versant du fleuve Bandama. Ce bassin versant s'étend de la latitude 5° 14' N à la latitude 10° 25' N. Sa superficie est de 61850 km² (figure 1).

Figure 1 : Situation géographique et administrative du cadre spatial



Depuis le 4 juillet 2012, la Côte d'Ivoire pays de l'Afrique de l'Ouest par le décret n°2012-612 du 04 juillet 2012, compte 31 régions administratives. Le département de Bouaké, notre zone d'étude est un département de la région du Gbêkê, région du centre de la Côte d'Ivoire. Elle regroupe quatre départements : celui de Botro, de Sakassou, de Béoumi et de Bouaké. Le département de Bouaké chef-lieu de la région est le plus grand en termes de superficie (figure 1). Il repose sur un vaste plateau relativement élevé. Son

relief est majoritairement plat, avec quelques légères ondulations. Les altitudes à l'échelle de ce département varient entre 142 et 442 mètres au-dessus de la mer avec une altitude moyenne de 255 mètres. Ce relief très peu accidenté pourrait favoriser la prolifération de zones humides. Aussi le département de Bouaké possède-t-il un réseau hydrographique assez dense. Les cours d'eau recouvrent toute la superficie de notre espace d'étude. Ils s'écoulent dans la direction Nord-Sud. On distingue cinq ordres de grandeur des cours d'eau. Les cours d'eau d'ordres 1 et 2 sont de petites rivières qui s'écoulent vers des rivières peu profondes constituant l'ordre 3. L'écoulement de ces dernières est dirigé vers les cours d'eau d'ordre 4 et d'ordre 5. Ces derniers sont constitués de rivières profondes et du N'Zi l'un des affluents du Bandama. Le département de Bouaké se trouve dans un climat tropical. Selon les sources de la SODEXAM enregistrées par la station météorologique de Bouaké de 1979 à 2019, la température moyenne des mois les plus froids se trouve en Juillet et en Août avec 24,2°C. Celle du mois le plus chaud est en Juillet avec une température de 28,0°C. Les précipitations totalisent en moyenne 1097 millimètres par an. Au mois le moins pluvieux (Décembre), elle s'élève à 8 millimètres, et dans le mois le plus pluvieux (septembre), elle atteint 160 millimètres. L'analyse de ces données de la SODEXAM présente un climat unimodal avec une saison pluvieuse assez longue et une saison sèche. La saison sèche débute dans le mois de novembre et se termine en février de l'année suivante. La saison pluvieuse quant à elle commence en mars et se termine en octobre. Le département de Bouaké présente donc des caractéristiques physiques favorables à la mise en place de zones humides.

2-Données et méthode de recherche

2.1-Les données

Les données suivantes ont été utilisées dans le présent travail :

- Une scène d'image satellite Landsat OLI TIRS du mois de janvier 2022 avec une résolution de 30 m et une image satellite SRTM de 2000 avec une résolution de 30 m acquises à partir des sites United States Geological Survey (USGS, <http://earthexplorer.usgs.gov/>) ;
- La carte du découpage administratif de la côte d'Ivoire du CNTIG de 2016
- Les statistiques climatologiques (précipitations, températures) obtenues à la SODEXAM
- Les données de population de l'habitat du RGPH de 2021

2.2-Traitement des données et analyse des résultats

La méthode de traitement des données comporte des étapes successives qui ont conduit à l'inventaire des zones humides dans le département de Bouaké

et à leur caractérisation. L'approche d'inventaire de ces milieux repose essentiellement sur l'exploitation des images Landsat OLI TIRS (2022) et SRTM (2000).

2.2.1-Analyse des indices et paramètres d'identification des zones humides

L'étude d'identification des Zones humides par la méthode semi-automatique implique la définition d'un certain nombre d'indices calculés à partir des bandes (4, 5 et 6) de l'image OLI TIRS, de la détermination du niveau d'ondulation, les zones potentielles d'accumulation d'eau et le réseau hydrographique du département de Bouaké centre du bassin versant du Bandama à partir de l'image SRTM. Cette méthode se base sur la combinaison et la superposition des critères établis à partir du NDVI, du NDWI, du TPI, de la pente, des zones d'accumulation d'eau et du réseau hydrographique. Le tableau 1 présente l'étendue et les valeurs retenues pour les indices et paramètres considérés comme critères d'identification.

Tableau 1 : étendues et valeurs retenues des indices et des paramètres

| Indices et paramètres | Etendue | Valeurs retenues |
|-----------------------|---------------|---------------------|
| NDVI | -0,016 à 0,45 | Supérieures à 0,3 |
| NDWI | -0,38 à 0,27 | Supérieures à 0 |
| TPI | -64,35 à 120 | Inférieures à -0,89 |
| Pente | 0% à 77% | Inférieures à 2% |
| Accumulation d'eau | 0 à 138 | 0 à 10 |
| Réseau hydrographique | 1 à 5 | 3 à 5 |

Source : images Landsat Oli janvier 2022 et SRTM 2000

La classification de l'indice de végétation NDVI a été obtenue par traitement de l'image Landsat OLI de janvier 2022 avec le logiciel Arcmap 10.5. Le calcul de cet indice dans le département de Bouaké présente des valeurs comprises entre -0,016 et 0,45. Les valeurs retenues pour la détermination des zones humides (supérieures à 0,3) correspondent à une végétation herbeuse dense pendant la saison sèche, mais également à une végétation arbustive caractéristique d'une végétation de zone humide. La classification de l'indice de stress hydrique NDWI est obtenu également par traitement de l'image Landsat 8 OLI de janvier 2022. Les valeurs retenues pour la détermination des zones humides sont comprises entre 0 et 0,27.

L'image SRTM de 2000 permet de déterminer l'indice TPI, la pente, l'accumulation et le réseau hydrographique. Les valeurs retenues sont les valeurs négatives (-64,35 à -0,89). Elles correspondent aux fonds de vallées. Les pentes sont aussi déterminées avec le MNT. Avec le logiciel Arcmap 10.5 les pentes varient de 0 à 77%. Pour la détermination des zones humides les

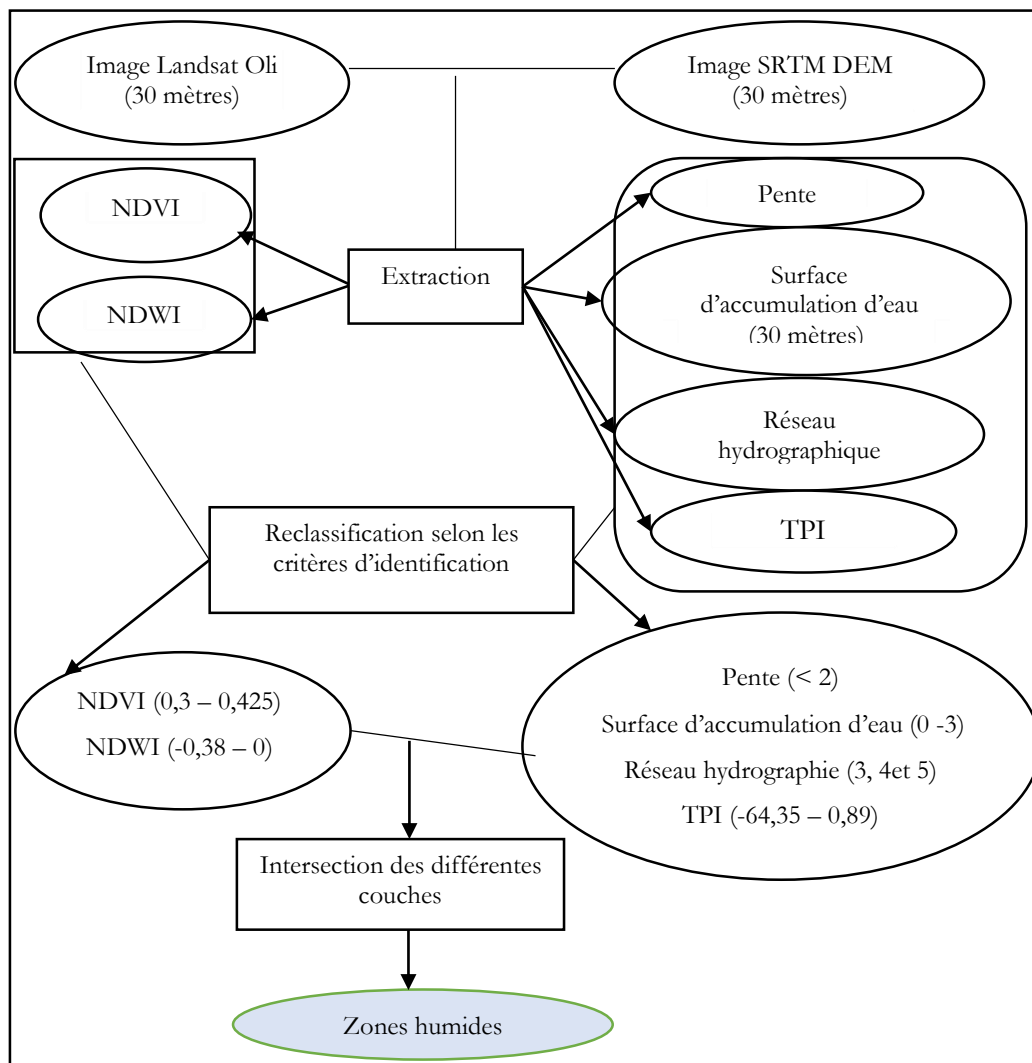
valeurs retenues sont les pentes inférieures à 2%. Enfin les zones d'accumulation d'eau et le réseau hydrographique sont déterminés par traitement de l'image SRTM avec le logiciel Arcmap 10.5.

2.2.2-Extraction des zones humides

Des opérations avec le logiciel ArcGIS 10.5 ont été utilisées pour superposer des informations précédemment obtenues en format vecteur. Le résultat issu de l'intersection des critères d'identification, a servi à ressortir les zones humides potentielles suivant la figure 2 :

Figure 2 : Approche supervisée de l'inventaire des zones humides

Figure 2 : Approche supervisée de l'inventaire des zones humides



3-Résultats

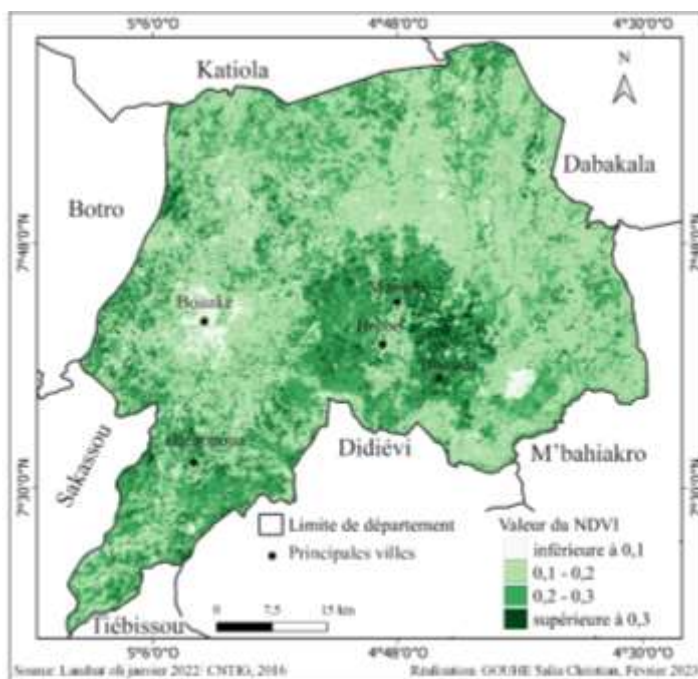
La détermination des zones humides du département de Bouaké s'est réalisée par une méthode de traitement de données comportant des étapes successives. L'approche d'inventaire des zones humides du département repose essentiellement sur l'exploitation des images Landsat OLI 8 (2022) et SRTM DEM (2000).

3.1-Analyse des indices et paramètres d'identification des zones humides

3.1.1-Indice de végétation

Les indices de végétation calculés à partir de l'image Landsat OLI 8 datant de janvier 2022 ont permis de décrire l'activité chlorophyllienne dans le département de Bouaké. Les valeurs du NDVI dans le département de Bouaké varient de - 0,016 à 0,45. Ces valeurs qui n'excèdent pas 0,5 montrent que la végétation de ce département est une végétation de savane (figure 3).

Figure 3 : Spatialisation des valeurs du NDVI de janvier 2022 du département de Bouaké



Les valeurs de NDVI inférieures à 0,1 se retrouvent principalement dans les zones de grande concentration humaine comme les zones urbaines. Les valeurs de NDVI comprises entre 0,1 et 0,2 se répartissent sur toute l'étendue

du département. C'est essentiellement au Sud du département qu'il est possible d'observer les valeurs de NDVI comprises entre 0,2 et 0,3 surtout dans la sous-préfecture de Djébonoua et celles de Brobo, Mamini et Bounda. Les valeurs les plus élevées (supérieures à 0,3) sont à la frontière des sous-préfectures de Mamini et Bounda. A chaque valeur du NDVI correspond un type de végétation bien précis. La dernière classe est celle qui a été retenue comme critère de détermination des zones humides. Elle est la moins représentative avec 6,37% et regroupe les valeurs de NDVI comprises entre 0,3 et 0,45. Elle correspond à une végétation arbustive et parfois arborée. Cette végétation est constituée de plantations de manguiers de bananiers, de palmiers, mais surtout d'anacardiens, mais également des forêts classées par les populations autochtones faisant de ces lieux des cimetières. C'est une végétation qui reste toujours verdoyante même en saison sèche.

3.1.2-Niveau d'ondulation du relief

Les pentes de notre zone d'étude qu'est le département de Bouaké sont extraites du MNT qui montre les différentes facettes topographiques ainsi que les grands axes de drainage (sens d'écoulement) des eaux du département de Bouaké. Elles varient de 0 à 77% et indiquent la présence des ondulations de terrain qui contribuent à la mise en place des zones humides. La pente des milieux humides est la plus faible. Elle doit être inférieure à 2%. Une reclassification des pentes a permis de dégager celles inférieure ou égale à 2% (figure 4).

Figure 4 : Reclassification des pentes du département de Bouaké

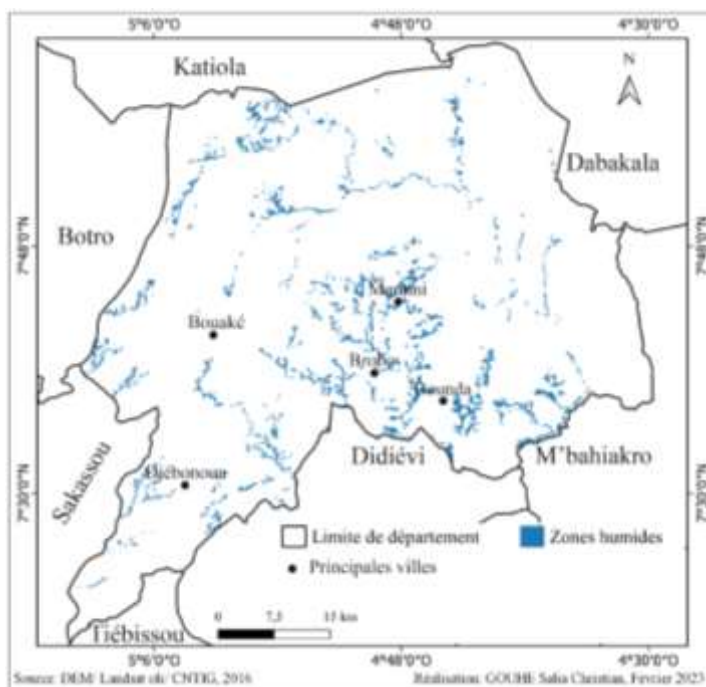


La reclassification des pentes du département de Bouaké a permis d'observer un vaste territoire très peu accidenté. Les pentes moyennes ou fortes font essentiellement une frontière entre l'extrême Ouest et le reste du département séparant ainsi le département en deux plaines.

3.1.3-les zones humides du département de Bouaké

L'analyse multicritère des indices et des paramètres liés aux zones humides préalablement établis à travers une superposition par intersection et par union a permis de ressortir les zones humides du département de Bouaké. La méthode de traitement des données comporte des étapes successives qui ont conduit à l'inventaire des zones humides. L'étude d'identification des zones humides du département de Bouaké par la méthode semi-automatique implique la définition d'un certain nombre d'indices calculés à partir des bandes (2, 3 et 4) de l'image OLI, la détermination du niveau d'ondulation et les zones potentielles d'accumulation d'eau à partir de l'image DEM. Elle s'est basée sur la combinaison et la superposition des critères établis à partir du NDVI, du NDWI, du TPI, de la pente et des zones d'accumulation d'eau. La figure 5 nous présente l'ensemble des zones humides du département de Bouaké obtenu par l'analyse multicritère des indices et des paramètres préétablis.

Figure 5 : Les zones humides du département de Bouaké



Le département de Bouaké est pourvu en zones humides couvrant une superficie de 15266 hectares (152,66 km²) soit 4,5% de la superficie totale de notre zone d'étude. De par cette méthode, l'ensemble des zones humides déterminées est au nombre de 35039. L'analyse de cette carte démontre que la proportion de zones humides dans le département de Bouaké est relativement faible.

4- Discussion

La détermination des zones humides est une tâche complexe, car ces milieux peuvent être très variés en termes d'aspect visuels, de végétations et de sols. Plusieurs méthodes peuvent être utilisées pour les identifier et les délimiter, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients. L'objectif de l'étude est la détermination et la caractérisation des zones humides du département de Bouaké. La méthode utilisée dans notre étude permet de déterminer en réalité le potentiel en zones humides de ce département. Il ne s'agit donc pas d'une cartographie précise et exhaustive de ces milieux écologistes. Les résultats sont uniquement le fruit d'une modélisation. En effet différentes méthodes sont utilisées pour déterminer et cartographier les zones humides. Notre méthode s'inscrit parmi les démarches de télédétection. Notre démarche est d'abord une méthode à distance. Elle utilise l'imagerie satellitale pour identifier les zones humides sur une superficie assez large. Elle est rapide et moins coûteuse car elle ne nécessite pas de parcourir toute la zone d'étude. Plusieurs chercheurs ont opté pour cette démarche dans leurs études. L'approche d'inventaire par télédétection et SIG utilisée dans cette étude, s'est révélée plus rapide, moins fastidieuse et efficace pour ressortir le potentiel en zones humides du département de Bouaké. Cette analyse confirme les conclusions tirées par Souberou et al (2017), dans une étude d'inventaire et de caractérisation des bas-fonds dans le bassin versant de l'Oti au Bénin. L'estimation des bas-fonds a pris en compte 6 critères d'identification (Souberou et al, 2017 : 1606) qui sont le NDVI, le NDWI, le TWI, les pentes, le réseau hydrographique et les zones d'accumulation d'eau. Dans notre cas, l'indice TWI a été remplacé par l'indice TPI. Ce choix est guidé par le fait que les zones d'accumulation d'eau étant déjà parmi les critères entrant en ligne de compte dans la détermination des zones humides du département de Bouaké. Le TPI utilisé marque beaucoup plus l'aspect morphologique du territoire pris en compte dans cette détermination. Les résultats de ces études concordent avec ceux de (Thomas Houet et al, 2006 : 260). Ceux-ci soutiennent que les conditions géomorphologiques et hydrologiques se positionnent comme les deux aspects les plus déterminants dans la répartition des zones humides. La télédétection constitue donc une méthode d'inventaire faisant preuve de potentialités et d'efficacité pour la détection et la caractérisation des milieux humides (Hubert-Moy *et al.*, 2003) cité par (Laure Vacquié et al, 2012 : 499). Dans son étude sur la pré-détermination des zones humides sur le bassin Loire-Bretagne, (Mazagol et al, 2009 : 17) affirme que cette méthode peut donner des indications

importantes et orienter toutes les autres démarches sur la détermination des zones humides. Notre méthode ne peut donc en rien remplacer un inventaire couplant à la fois photo interprétation, télédétection et campagnes de validation terrain. Mais elle peut cependant donner des indications importantes et orienter toute autre démarche. La dernière démarche est beaucoup plus précise elle nécessite la combinaison des données de télédétection mais celles recueillies sur le terrain. Cependant c'est une méthode chronophage et coûteuse quand le territoire à étudier est vaste. C'est la démarche la plus précise dans la détermination et la caractérisation des zones humides. Mais elle est confrontée à de nombreuses difficultés. Pour (Mazagol et al, 2009 :17), lorsqu'on entreprend une telle démarche, les obstacles peuvent être la disponibilité de données, de manière homogène, sur l'ensemble du terrain d'étude quand le territoire est vaste. Il y a donc certaines limites à vouloir modéliser des phénomènes tel que celui présenté ci-dessus, surtout lorsque le temps imparti pour l'étude est court. Il est alors souvent impossible d'intégrer tous les facteurs susceptibles d'intervenir dans la mise en place et le maintien des structures étudiées, ici, les zones humides. Un autre obstacle selon (Mazagol et al, 2009 :17) est la grande diversité des zones humides qui possèdent chacune leurs propres caractéristiques et représentent autant de contraintes qui doivent être intégrées à une démarche de terrain. Encore faut-il ajouter qu'il est impossible d'utiliser une démarche issue de la combinaison de la télédétection et du terrain car nous ne disposons pas de zones témoins réparties sur le territoire d'étude.

Conclusion

La démarche entreprise dans le cadre de notre étude nous a permis de déterminer 33000 cellules de zones humides potentielles dans le département de Bouaké. C'est une méthode assez efficace et très utile dans ce contexte de variabilité climatique et surtout dans un pays comme la Côte d'Ivoire qui a fondé son développement sur l'agriculture. L'exploitation des zones humides est devenue de plus en plus inévitable, car elles occupent une place de choix dans les systèmes de production (rizicole, maïsiculture, etc.). Notre méthode permet de couvrir de grandes étendues de terrain rapidement et efficacement. Elle est basée sur une analyse multicritère de certains paramètres géomorphologiques. Ces indices et paramètres ont été préalablement identifiés dans le département de Bouaké. Puis à travers une superposition par intersection et par union de ces derniers, nous avons pu obtenir la carte des zones humides de ce département. Notre méthode permet d'acquérir des données sur des zones même inaccessibles ou dangereuses. Elle est primordiale à des études d'inventaire plus poussée des zones humides surtout dans des territoires comme le département de Bouaké où aucun travail d'une telle envergure n'a encore été publié.

Bibliographie

- Bazoge Adeline** (2014), *identification et délimitation des milieux humides du Québec méridional*, Développement durable, environnement et lutte contre les changements climatiques, Québec, 119 p.
- Bertrand de Sartiges** (1978), *Infiltration des eaux et relations entre aquifères profonds et superficiels : Hydrogéologie du plateau de Thollon, de la montagne de Memise et de la vallée de l'Ugine (haute-savoie)*, Thèse soutenue le 15 décembre 1978, Université Scientifique et Médicale de Grenoble, 279p
- Fustec Éliane, Lefevre Jean-Claude, Geneviève Barnaud** (2000), *Fonctions et valeurs des zones humides*, France, Dunod, 426p.
- Gouhé Salia Christian** (2023), *Caractérisation des zones humides du département de Bouaké, centre de la Côte d'Ivoire*, papier de recherche, Université Alassane Ouattara, Bouaké
- Houet Thomas, Hubert-Moy Laurence** (2006), *Modeling and projecting land-use and land-cover changes with cellular automaton in considering landscape trajectories : An improvement for simulation of plausible future states*, EARSel eProceedings, France, pp 63-76
- Hubert-Moy Laurence et al** (2003), *Land cover change prediction with a new theory of plausible and paradoxical reasoning*, Proc. Of Fusion, volume 8 n°11, pp 1141-1148
- Mazagol Pierre-Olivier et al** (2008), *Pré-détermination de zones humides sur le bassin Loire-Bretagne*, SIG 2008 : Conférence francophones ESRI, 1er et 2 octobre 2008, Versailles, 19p.
- Souberou Kafilatou** (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), Vol-2, Issue-4, July-Aug- 2017, pp 1601 - 1623
- Sylvain Ménard, Marcel Darveau, Louis Imbeau** (2007), *Histoire de la classification des milieux humides au Québec*, Le naturaliste canadien, volume 131, n°2, été 2007, pp85-90.
- Tiner, R. W.** (2017). *Wetland Indicators: A Guide to Wetland Identification, Delineation, Classification, and Mapping*, Second Edition, CRC Press, 606 p.
- Vacquié Laure et Thomas Houet** (2012), *Cartographie des zones humides de montagnes par télédétection. Potentialités des images à très haute résolution spatiale*, Revue internationale de géomatique Volume 22 n° 4/2012, p 497-518