

# CARTOGRAPHIE DU POTENTIEL EN BAS-FONDS AMENAGEABLES DE LA COMMUNE DE MATERI AU BENIN

SOUBEROU Kafilatou<sup>1</sup>, OLOUKOI Joseph<sup>2</sup>, AMOUSSOU Ernest<sup>3</sup>

1. Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Faculté des Lettres, Arts et Sciences Humaines (FLASH), adjokesouberou@yahoo.fr, Université d'Abomey-Calavi (UAC), Bénin
2. Department of Cartography, chabijos@yahoo.fr, oloukoi@rectas.org, Regional Centre for Training in Aerospace Surveys (RECTAS), Obafemi Awolowo University Campus, Ile-Ife, Nigeria
3. Département de Géographie et Aménagement du Territoire (DGAT), Laboratoire Pierre Pagney : Climat, Eau, Ecosystèmes et Développement (LACEEDE) / FLASH, ajernest@yahoo.fr, Universités d'Abomey-Calavi (UAC) et de Parakou (UP), Bénin

## RESUME

Depuis une trentaine d'années, de nombreux programmes et projets de recherche interviennent dans la mise en valeur des bas-fonds, devenue aujourd'hui l'une des stratégies d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques. L'identification de ces agro-écosystèmes de bas-fonds s'avère nécessaire pour les perspectives agricoles. La présente étude vise à cartographier le potentiel en bas-fonds aménageables de la commune de Matéri situé au nord-ouest du Bénin.

L'approche méthodologique adoptée a combiné le NDVI (Indice Normalisé de Végétation) généré à partir de l'image Landsat ETM+, la pente extraite du traitement numérique de l'image ASTER DEM et les zones d'accumulation d'eau générées également à partir de l'image satellitaire ASTER DEM. La commune de Matéri est pourvue en zones humides occupant 25 % de sa superficie. Environ 4928 bas-fonds aménageables couvrant une superficie de 53 km<sup>2</sup> (soit 3,05 % de la surface totale) ont été identifiés.

**Mots clefs :** Bas-fond, télédétection, inventaire, cartographie, Matéri, Bénin

## ABSTRACT

Since about thirty years many programmes and research projects have been developed for the planning of the inland valleys, this planning becomes nowadays one of the strategies of agriculture for the adaptation to the climatic changes. The identification of these agro-ecosystems of inland valleys is necessary for the agricultural perspectives. This study aims at mapping the potential in wetlands in the north west of Benin.

The methodological approach has combined the NDVI generated from a Landsat ETM+ image, the slope extracted from ASTER DEM and the accumulation areas generated also from that DEM. Materi district possesses humid areas, upon 25% of her area. About 4928 wetlands developable have been identified covering a 53 km<sup>2</sup> area (about 3.05% of the total surface). About 82% of those wetlands GPS points taken in the field correspond to the one inventoried through the processing of satellite images.

**Keywords:** Wetlands, Remote Sensing, Inventory, Mapping, Materi, Bénin

## INTRODUCTION

Zone de bas paysage à fond plat ou concave, les bas-fonds sont considérés comme de petites vallées inondables qui recueillent les eaux de ruissellement en provenance des versants et constituant les axes de drainage élémentaire (Ahouandjinou, 2004). En raison de la fertilité de leurs sols et de leur caractère hydromorphe, ils constituent des surfaces de très grand intérêt dans ce contexte marqué par la variabilité climatiques et les mutations des modes d'utilisation des terres agricoles.

L'exploitation des bas-fonds constitue l'une des stratégies d'adaptation de l'agriculture aux changements climatiques (Dimon, 2008). En Afrique subsaharienne, le front des activités agricoles se déplace de plus en plus vers les milieux hydromorphes (plaines inondables, bas-fonds, vallées). Ainsi, les écosystèmes des bas-fonds se sont révélés comme un ensemble de ressources dont la mise en valeur devient une nécessité impérieuse pour le développement, l'intensification et la diversification de la production agricole (Oloukoi, 2005). De même, les bas-fonds possèdent de grandes potentialités agronomiques qui en font des sites agricoles stratégiques pouvant apporter des palliatifs à la pression démographique sur les plateaux et aux irrégularités spatio-temporelles des précipitations qui rendent aléatoires les cultures strictement pluviales (Mahaman et Windmeijer, 1995).

Dans les pays en développement comme le Bénin, sur le plan de la sécurité alimentaire, des crises de subsistance existent du fait de l'occurrence précoce des périodes de soudure dues aux fluctuations significatives de la pluviométrie qui ont un impact notable sur les ressources en eau et l'agriculture (ProAgri/GIZ, 2011). Cette situation existe malgré les ressources en eau importantes caractérisées par des précipitations moyennes annuelles entre 750 et 1400 mm ; des eaux de surface de 13 106 M (million) m<sup>3</sup> par an et une capacité annuelle de recharge de la nappe phréatique de 1870 M m<sup>3</sup> par an (Agbossou *et al.*, 2010). Pays très arrosé, le Bénin regorge d'importantes zones humides dont la superficie totale des terres hydromorphes est estimée à 205 000 ha avec 160 000 ha de bas-fonds (SNDR, 2011 ; [Africarice.org/gen\\_assigbe\\_ben.htm](http://Africarice.org/gen_assigbe_ben.htm)), sans inclure les potentialités de la Pendjari et de ses affluents qui n'ont pas encore fait l'objet d'une évaluation (RNI, 2008). Le niveau de connaissance du potentiel en bas-fonds du Bénin, malgré les campagnes de sensibilisation et d'inventaire des bas-fonds nationaux, est faible.

L'exploitation des écosystèmes de bas-fonds dans la commune de Matéri, revêt un intérêt important et est devenu un enjeu majeur du développement agricole afin de réduire les contraintes hydriques. La mise en valeur des bas-fonds exige une connaissance du potentiel disponible à travers leur spatialisation. Cependant, l'inventaire des bas-fonds reste difficile par manque d'outils adéquats (Danvi et Mama, 1998). Leur étude nécessite l'utilisation de la télédétection et du Système

d'Information Géographique (SIG) qui permettent l'identification, la modélisation et la gestion des ressources spatiales. A travers les outils de la cartographie et du SIG, les zones humides de bas-fonds sont bien connues. La mise en place d'une base de données spatiales pourrait faciliter l'inventaire (Chabi *et al.*, 2010) ainsi que leur gestion. L'objectif de la présente étude est de cartographier le potentiel en bas-fonds dans la commune de Matéri. Il s'agira d'inventorier les bas-fonds aménageables et de donner un aperçu exhaustif.

## 1. CADRE GEOGRAPHIQUE DE L'ETUDE

La commune de Matéri est située dans la partie septentrionale du Bénin, à l'extrême ouest du Département de l'Atacora. D'une superficie de 1740 km<sup>2</sup>, elle est comprise entre 10° 38' et 11° 40' de latitude Nord et 0° 48' et 1°10' de longitude Est (PDC, 2011). Divisée en six arrondissements à savoir : Matéri, Dassari, Tantéga, Gouandé, Tchahoun-Cossi et Nodi, elle est traversée par la rivière Pendjari au nord-ouest (figure 1). Le climat est de type soudanien. La normale des précipitations se situe entre 800 et 1300 mm par an.

Le relief, relativement peu accidenté, est caractérisé par la plaine de Gourma, un grand bassin versant drainé par la rivière Pendjari. Du point de vue géomorphologique, ce bassin sédimentaire précambrien est un vaste glacis avec des altitudes s'échelonnant entre 92,8 et 369,5 m, formé sur des grès de schistes voltaïen. La partie orientale du secteur d'étude est occupée par des collines. Le réseau hydrographique de Matéri appartient au grand ensemble du bassin hydrographique de la Volta, précisément située dans le bassin versant de l'Oti. Un nombre important de cours d'eau en dehors de la rivière Pendjari et ses affluents irriguent le territoire communal. La période des hautes eaux est observée en août.

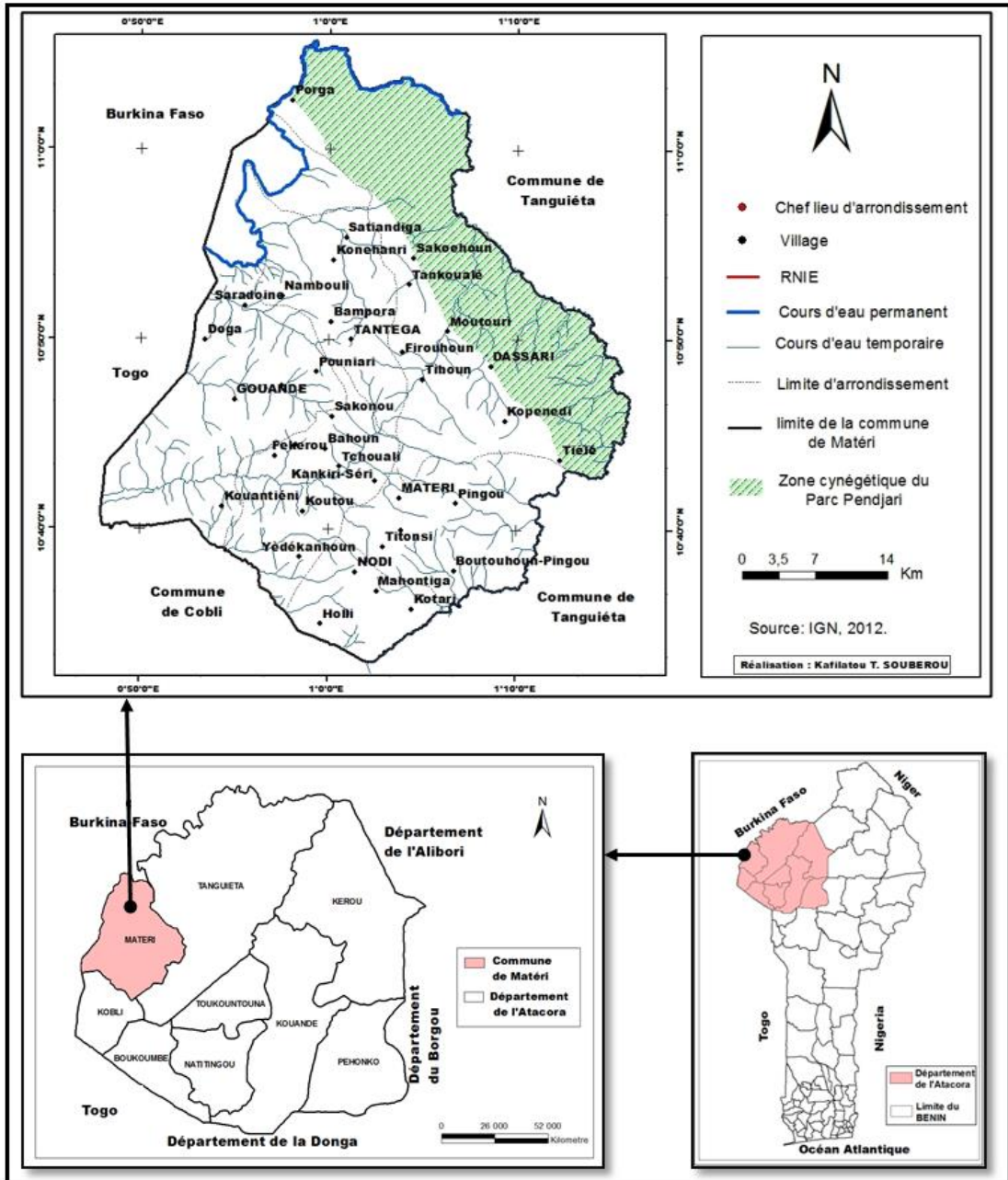
Les types de sols rencontrés dans la commune de Matéri sont les sols minéraux, les sols hydromorphes, les sols ferrugineux tropicaux lessivés à concrétions et les sols ferrugineux tropicaux lessivés indurés (Ouorou, 2010). Les sols ferrugineux tropicaux caractérisent essentiellement la plaine de Gourma. Ils sont rencontrés dans la majeure partie des bas-fonds et lits majeurs des affluents de la Pendjari (LSSEE, 2004). Quant au couvert végétal, il est clairsemé et comprend des galeries forestières, des savanes arborées et arbustives, des savanes saxicoles et des zones de cultures et jachères. On y rencontre des espèces telles que *Vitellaria paradoxa*, *Parkia biglogosa*, *Adansonia digitata*, *Borassus aethiopum* conservées pour leur intérêt socio-économique.

La population de la commune de Matéri était de 83 721 habitants, selon le recensement de 2002, soit 48 habitants/km<sup>2</sup> (INSAE, 2003). D'après les projections,

l'effectif de la population est estimé à environ 122 945 habitants en 2015. La commune compte 11 060 ménages agricoles correspondant à 95,2 % de la population totale (PDC, 2011).

L'explosion démographique croissante de cette commune engendre une forte demande en terres cultivables (Ouorou, 2010) par les actifs agricoles qui font recours aux terres exondées dans le but d'atténuer la pression agricole. L'exploitation des bas-fonds permet d'améliorer les rendements agricoles et de faire face aux besoins quotidiens et vitaux de la population qui s'imposent actuellement.

Figure 1 : Situation géographique de la commune de Matéri



## 2. DONNEES ET METHODES

### 2.1. Données

Les données suivantes ont été utilisées :

- deux scènes d'images satellites Landsat-7 ETM+ ortho rectifiées respectivement du 05 octobre et 06 novembre 2007 avec une résolution de 28,5 m ;
- une image satellite ASTER DEM de 2000, améliorée le 26 juin 2009 avec une résolution de 30 m ;
- une carte topographique, feuilles de Sansanné-Mango, de Natitingou et d'Arli au 1/200 000 ;
- une carte générale du Bénin au 1/600 000 (IGN France, 1960 ; IGN France et IGN Benin, 2000) montrant les limites des communes du Bénin ;
- des points de géolocalisation par GPS (Global Positioning System) des bas-fonds exploités dans le secteur d'étude.

### 2.2. Traitement et analyse des données

L'approche d'inventaire des bas-fonds repose essentiellement sur l'exploitation des images Landsat ETM+ (2007), ASTER DEM (2000) et de la carte topographique.

L'étude d'identification des bas-fonds s'est basée sur la combinaison et la superposition des critères établis à partir du NDVI, de la pente et des zones d'accumulation d'eau.

#### ► **Mosaïquage des images Landsat ETM<sup>+</sup>**

Les deux scènes d'images Landsat ETM+ (de références Path/Row: 193 / 053 pour l'image du 05 octobre et Path/Row: 193 / 052 pour l'image du 06 novembre) ont été mises en mosaïque. Ces images ont été d'abord importées dans l'environnement du logiciel Envi pour une homogénéisation des valeurs des pixels. Elles ont été prises à différentes dates mais dans les deux (02) premiers mois de la saison sèche (05 octobre et 06 novembre, période où les bas-fonds présentent encore une quantité non négligeable d'eau. C'est aussi la période au cours de laquelle la biomasse végétale est généralement faible (Chabi *et al.*, 2010).

#### ► **Génération de l'Indice Normalisé de Végétation (NDVI)**

Le NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) exprime l'intensité de l'activité chlorophyllienne de la végétation. Le calcul de l'indice de végétation se fait par la formule :  $NDVI = (PIR-R) / (PIR+R)$  où PIR représente la réflectance dans le proche infra-rouge et R dans le canal du rouge. Ces deux canaux sont particulièrement

bien adaptés pour décrire l'activité photosynthétique de la végétation (Ioana-Toroimac *et al.*, 2006 ; Turker, 1979).

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 (NASA, 2005).

La définition des classes est basée sur les résultats des travaux de Davranche (2008), de Djaufack (2011) et de Leroux (2012). La visualisation de la réponse a permis de distinguer la végétation, notamment celle caractéristique des milieux humides.

#### ► **Modèle Numérique d'Altitude (MNA) et Extraction des pentes**

Le Modèle Numérique d'Altitude est extrait à partir de l'image ASTER DEM d'une résolution de 30 m. Ce modèle a permis de ressortir la valeur des pentes de la zone. La carte des pentes obtenue a été classifiée en tenant compte des normes établies par le DIARPA (Legoupil *et al.*, 2000 ; Jamin *et al.*, 2002 ; Chabi *et al.*, 2010), qui considère un aménagement de bas-fond techniquement et économiquement viable si les pentes sont inférieures ou égales à 2 %. Aussi, l'aménagement hydro agricole des bas-fonds est facilement reproductible par les exploitants et mieux valorisé si les pentes transversales et longitudinales sont faibles ( $\leq 2$  %).

#### ► **Détermination des zones de forte accumulation d'eau**

Les zones d'accumulation sont des endroits (surfaces) dans lesquels l'eau stagne pendant un moment avant toute infiltration ou écoulement vers les cours d'eau temporaires proches. Elles sont déterminées dans le cadre de cette étude, à partir du traitement numérique de l'image ASTER DEM. L'identification des zones potentielles d'accumulation d'eau sur l'étendue du territoire de la commune de Matéri a nécessité en entrée un Modèle Numérique Altitude (MNA) préalablement réalisé, ensuite l'extraction de la carte des aspects et la génération des directions d'écoulement (flow direction). Enfin, il a été généré en utilisant le résultat précédent le *flow direction* pour obtenir les zones d'accumulation d'eau dans les bas-fonds.

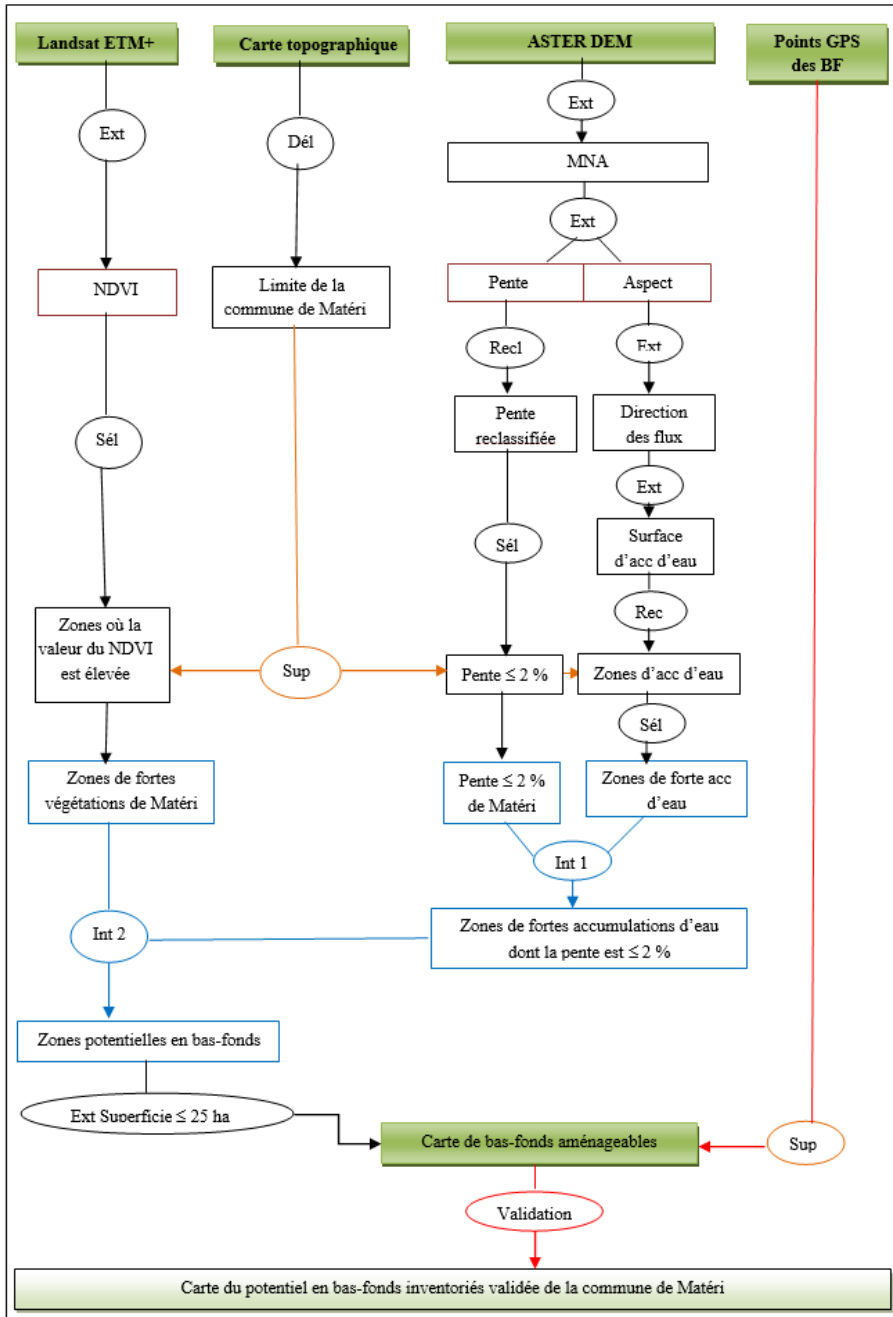
La carte des zones d'accumulation d'eau obtenue a été ensuite classifiée. La reclassification d'une surface a été définie sur la base d'une interprétation de la plage des valeurs du plus petit au plus grand (CETE Nord-Picardie, 2009). Par la suite, les zones de forte accumulation d'eau du secteur de l'étude ont été extraites.

#### ► **Utilisation des fonctions SIG et validation des résultats**

La fonction de superposition du logiciel Arc GIS a été utilisée pour l'identification des bas-fonds en utilisant les opérations de Boolean (Overlay). Du résultat issu de l'intersection des 03 précédents critères sont extraites les zones de bas-fonds aménageables ayant une superficie inférieure ou égale à 25 hectares (4ème critère) selon le Diagnostic Rapide de Pré-Aménagement (Jamin, *et al.*, 2002).

La carte obtenue a été croisée avec une carte de référence des bas-fonds exploités (les bas-fonds aménagés et non aménagés) dans la zone d'étude réalisée à partir de relevés GPS de terrain. Cette superposition des points des bas-fonds échantillonnés sur les bas-fonds obtenus par traitement numérique d'images, a permis de valider l'approche d'inventaire utilisée dans cette étude. Aussi, elle a permis d'estimer le taux de bas-fonds correctement détectés et de vérifier l'efficacité de l'approche d'inventaire. L'approche cartographique utilisée pour l'identification des bas-fonds est illustrée par le modèle de la figure 2.

Figure 2 : Procédure d'inventaire des bas-fonds par traitement numérique d'image



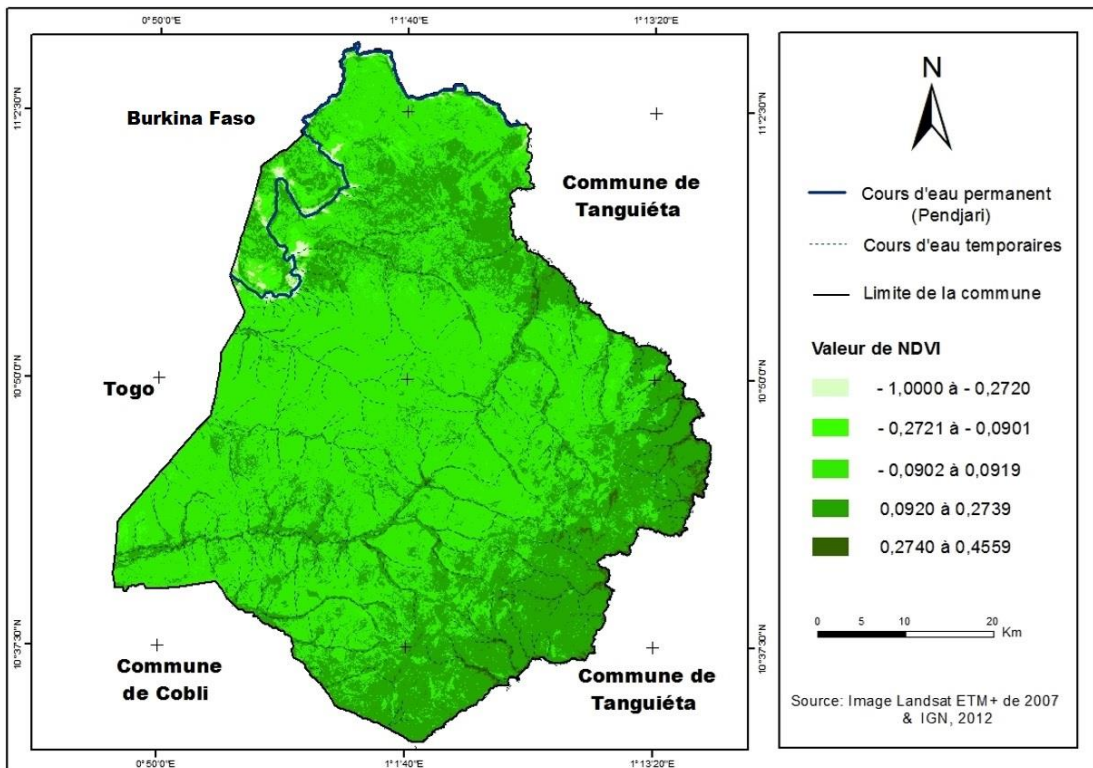
*NB* : *acc* = accumulation ; *Dél* = Délimitation ; *Ext* = extraction ; *Recl* = Reclassification ; *Sél* = Sélection ; *Int* = Intersection ; *Sup* = Superposition ; *MNA* =Modèle Numérique d'Altitude.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Application des critères d'identification (Indice normalisé de végétation, pente et zones d'accumulation d'eau)

L'extraction des bas-fonds de la commune de Matéri a tenu compte de l'indice de végétation calculé à partir de l'image ETM+ (figure 3).

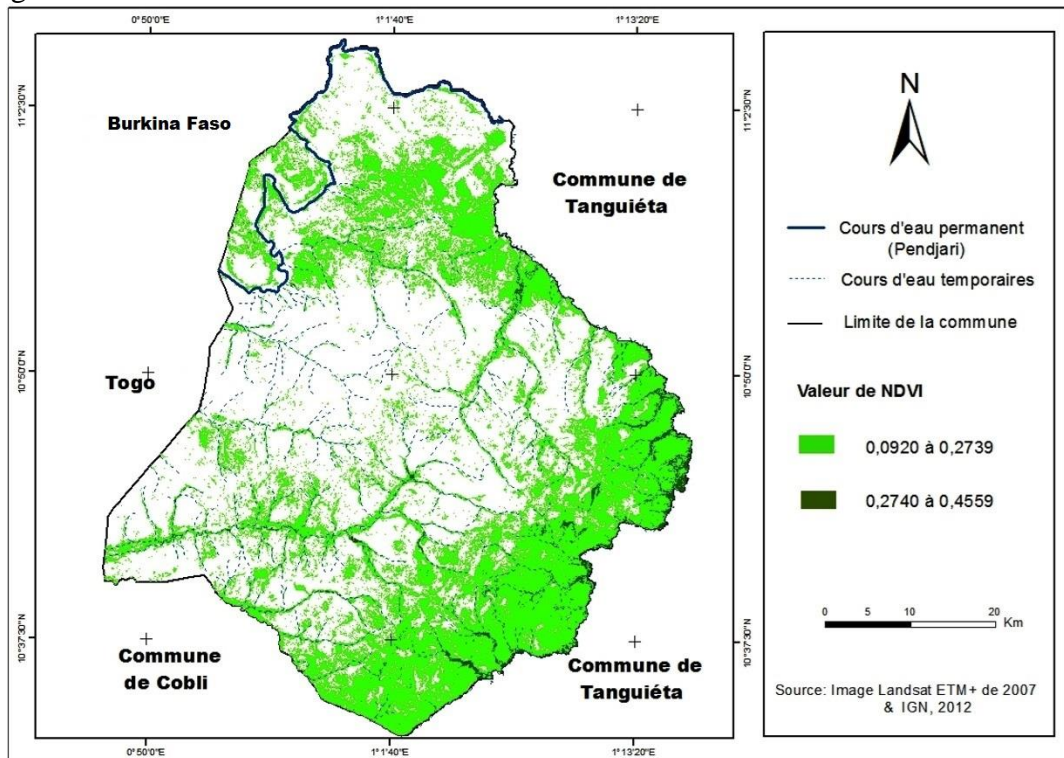
Figure 3 : Néo canal du NDVI et cours d'eau de la commune de Matéri



L'analyse de la figure 3 montre que les endroits où se trouvent des cours d'eau permanents, des cours d'eau temporaires et là où le relief est peu accidenté, ont une forte réflectance. Ces zones de forte réflectance (figure 4) montrent la densité importante de végétation au niveau des zones humides, ainsi que le degré d'humidité

du sol contenant une bonne quantité de biomasse. L'extraction des zones ayant une forte réflectance où la valeur du NDVI est comprise entre 0,0919 et 0,4559 indique la présence d'une végétation, caractéristique des écosystèmes de bas-fonds.

Figure 4 : Extraction des zones à valeur de NDVI élevée dans la commune de Matéri



Le modèle numérique d'altitude (MNA) généré (figure 5) présente les différentes facettes topographiques de la de la commune de Matéri au Bénin.

La carte des pentes (figure 6) est obtenue à partir du modèle numérique d'altitude de la commune de Matéri.

L'analyse de la figure 6 montre que les pentes varient de 0 à 69,23 % et indique la présence des ondulations de terrain qui contribuent à la mise en place des écosystèmes de bas-fonds.

Figure 5 : Modèle numérique d'altitude de la commune

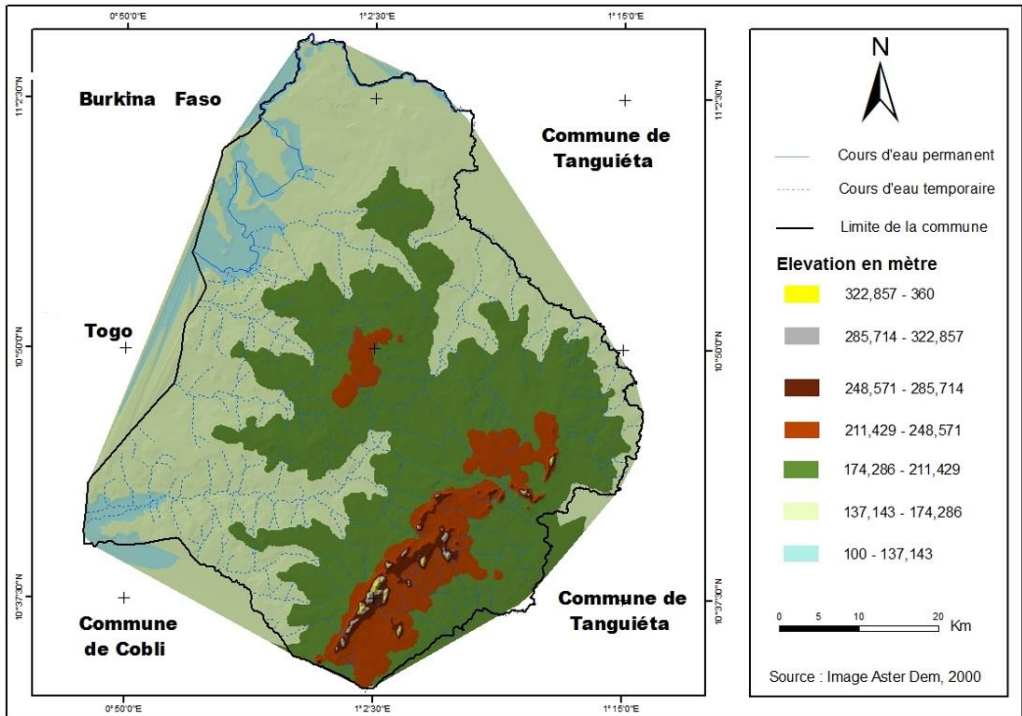


Figure 6 : Pentas montrant les niveaux d'ondulation du relief de la commune

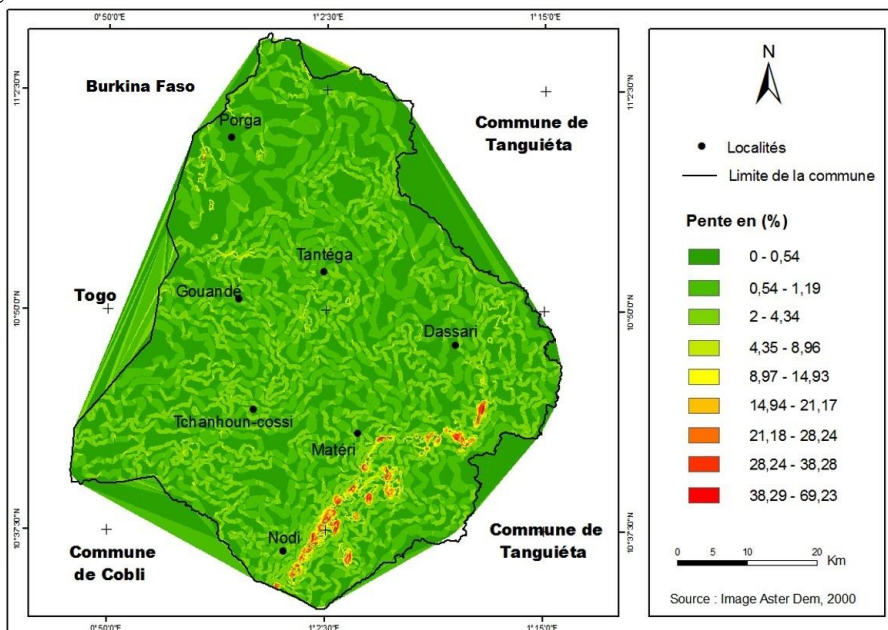
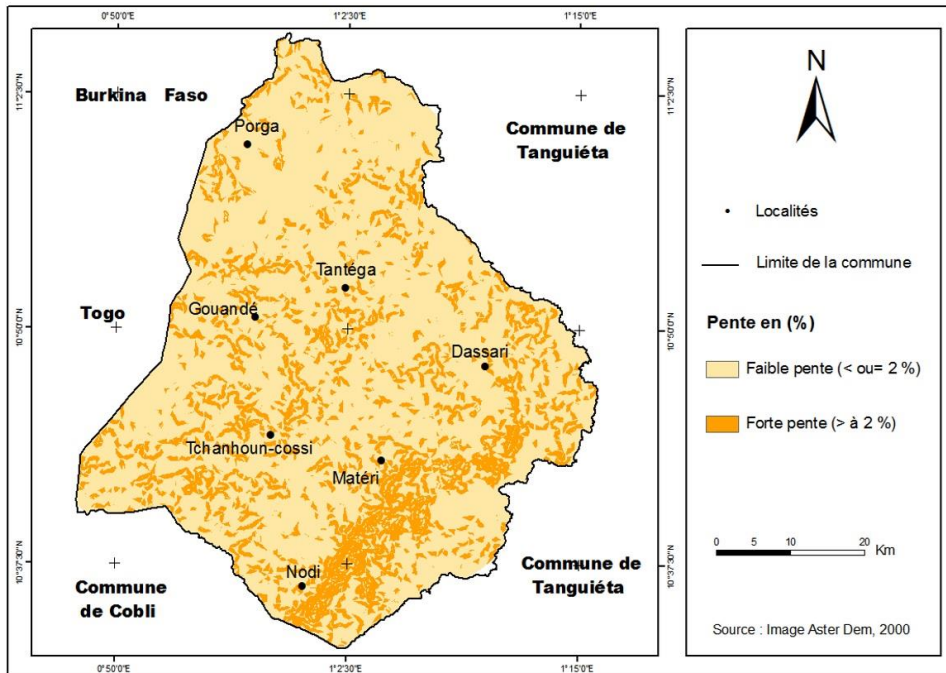
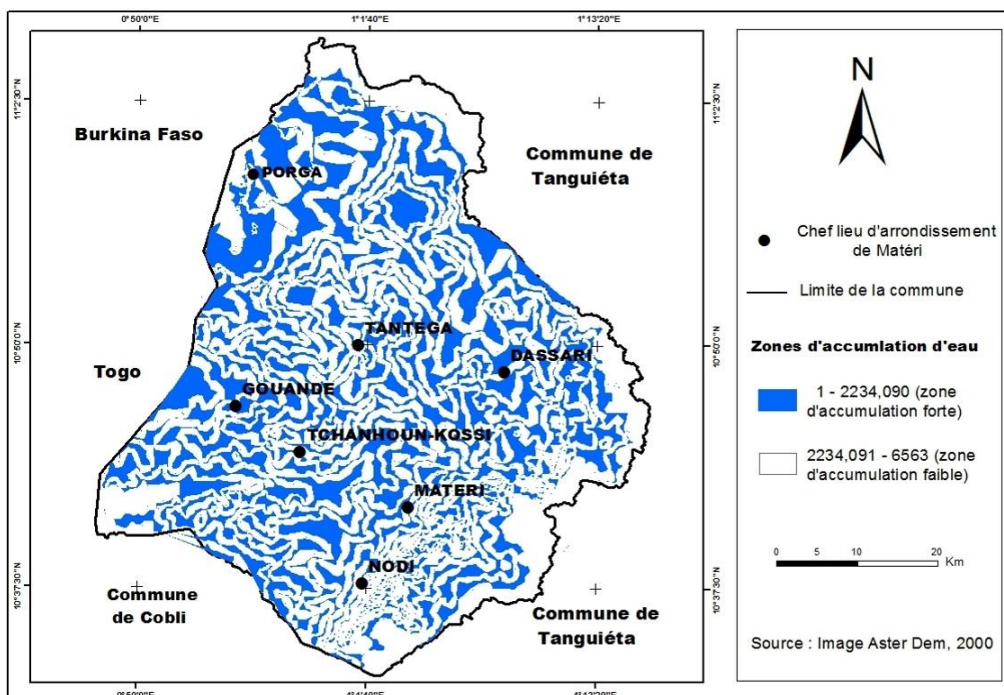


Figure 7: Reclassification des pentes



La figure 8 expose les surfaces du bassin versant qui sont susceptibles de disposer d'une quantité d'eau importante en saison sèche.

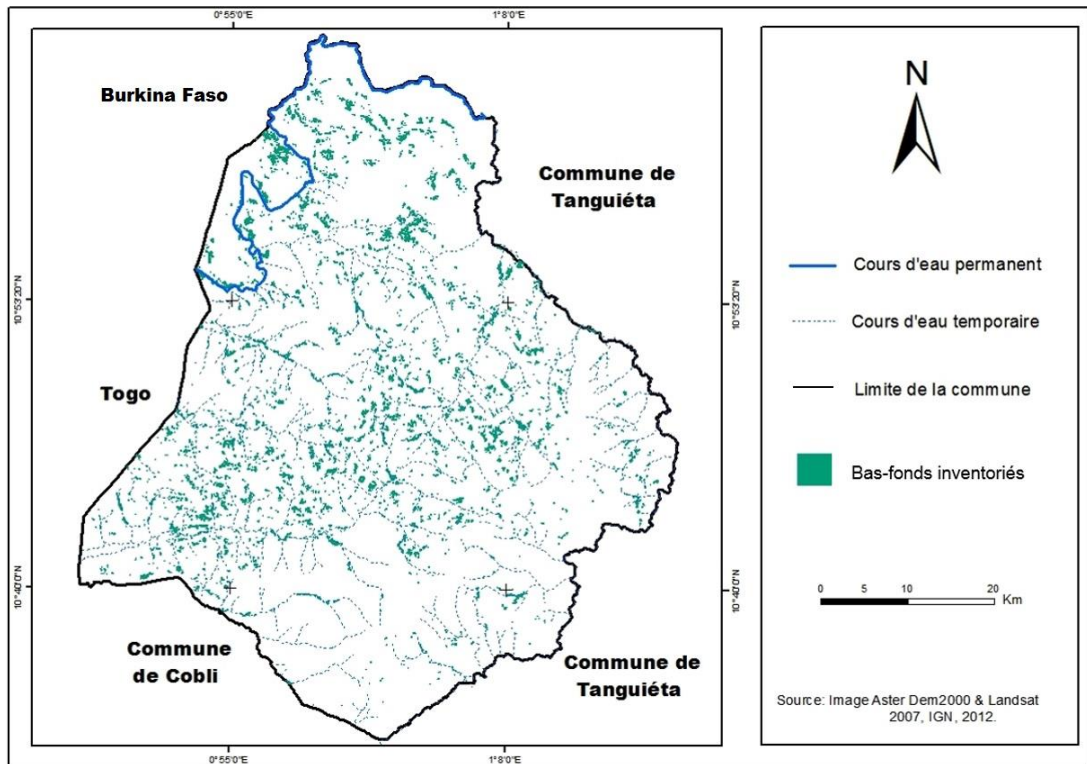
Figure 8 : Zones de forte accumulation d'eau



### 3.2. Potentialités en bas-fonds de la commune de Matéri

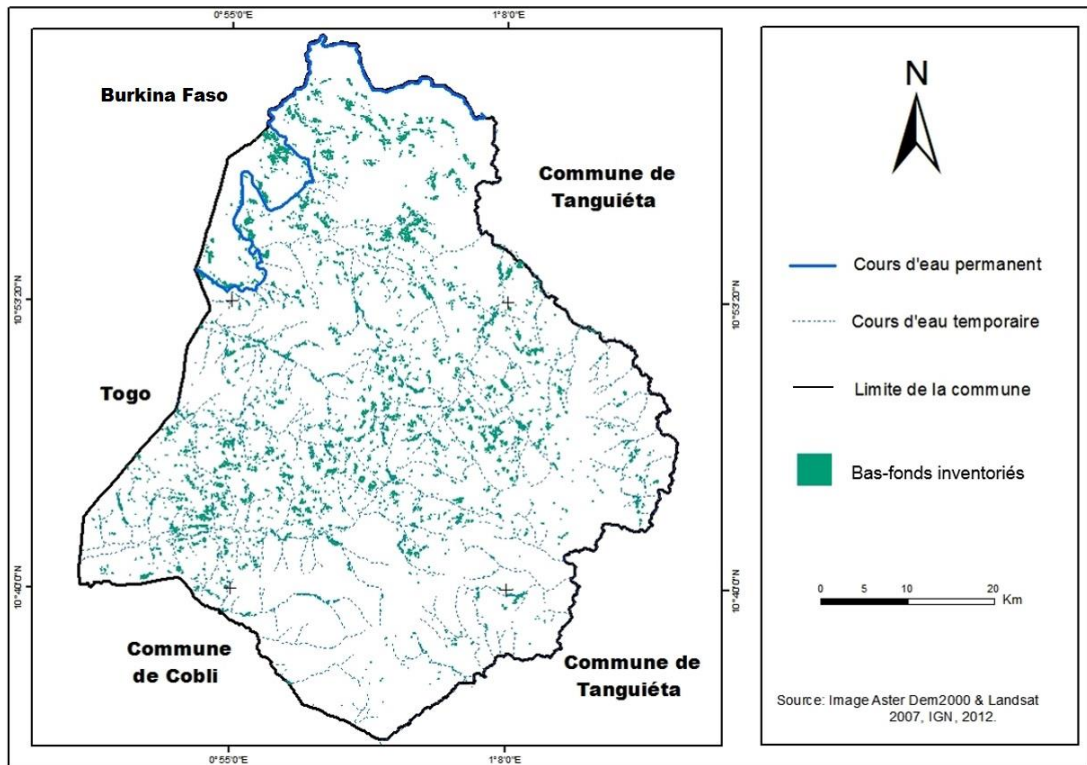
Le potentiel en bas-fonds (figure 9) est extrait suite à l'intersection des résultats cartographiques issus des critères d'identification préalablement établis et expliqués dans la méthodologie.

Figure 9 : Potentiel en bas-fonds de la commune de Matéri



La figure 9 montre que la zone d'étude est pourvue en bas-fonds couvrant une superficie de plus de 43 337,61 hectares soit 24, 91 % de sa superficie totale. Les bas-fonds aménageables ayant une superficie inférieure ou égale à 25 ha ont été extraits à partir d'une requête spatiale (figure 10).

Figure 10: Bas-fonds aménageables inventoriés de la commune de Matéri

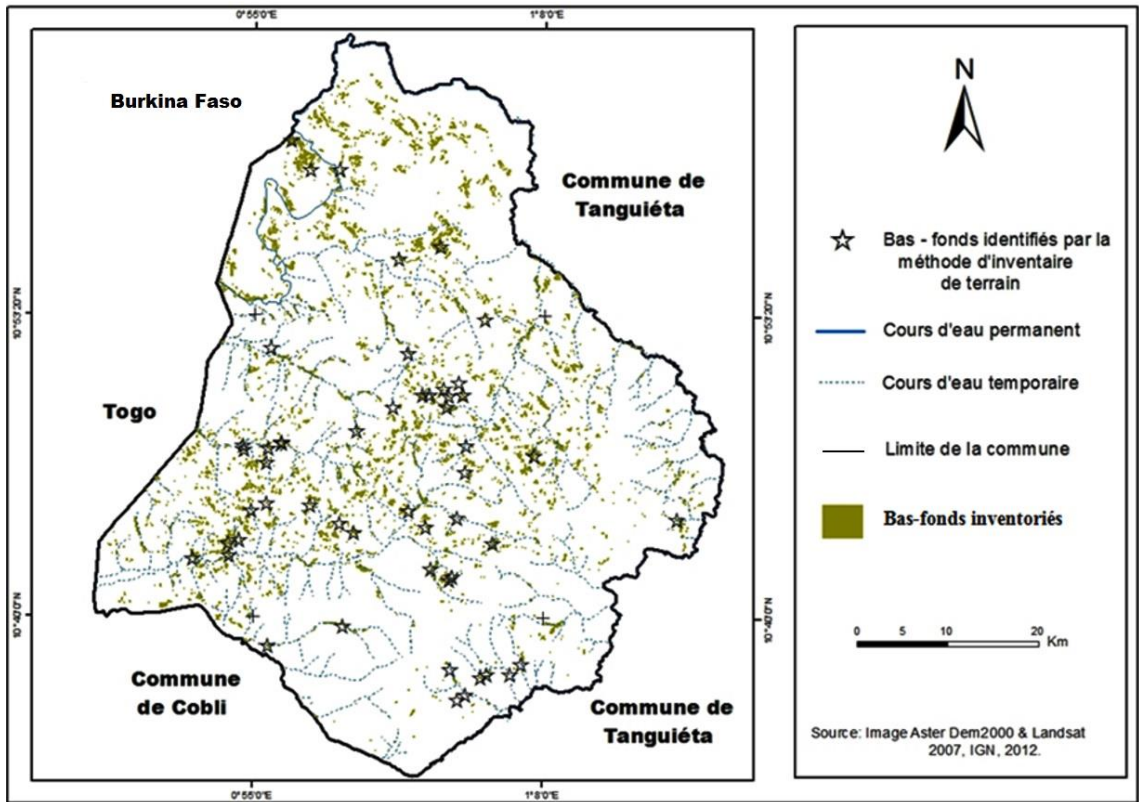


De l'analyse de la figure 10, il ressort qu'environ 4 928 bas-fonds inventoriés ont une superficie inférieure à 25 ha et sont facilement aménageables. Ils couvrent une superficie de 5 290,05 ha, soit 12,2 % de la superficie totale des zones humides du secteur d'étude.

### 3.3. Validation des résultats

La validation des résultats repose sur la superposition des relevés GPS des bas-fonds aménagés sur ceux inventoriés par traitement d'images satellites. L'analyse de la figure 11, montre que 49 sur les 60 points GPS des bas-fonds relevés sur le terrain soit environ 81,66 % correspondent aux bas-fonds inventoriés par traitement numérique d'images satellitaires. La superposition de ces différents points a permis de confirmer les critères d'inventaire par traitement numérique des images (pente inférieure ou égale à 2 % ; zones de forte accumulation d'eau de valeur comprise entre 1 et 2 234, enfin l'indice de végétation aux seuils de 0,092 à 0,456).

**Figure 11** : Validation des bas-fonds inventoriés par les points levés au GPS



#### 4. DISCUSSION

L'approche d'inventaire par télédétection et SIG utilisée dans cette étude, s'est révélée plus rapide et efficace pour ressortir les bas-fonds aménageables de la commune de Matéri que l'approche d'inventaire par relèvement de terrain. Cette analyse confirme les conclusions tirées par Chabi *et al.* (2010) dans une étude d'inventaire des bas-fonds au centre du Bénin. L'estimation du potentiel en bas-fonds aménageables a pris en compte trois critères d'identification notamment la pente, le NDVI et la superficie inférieure ou égale à 25 ha dans le cadre des travaux de recherche de Chabi *et al.* (2010).

La présente étude, en plus de ces trois critères, a ajouté le critère des zones d'accumulation d'eau dans le bassin versant. L'ajout de ce quatrième critère d'identification des bas-fonds à la méthode d'inventaire a permis de rendre la technique plus efficace. Les résultats de cette analyse concordent avec ceux de Hubert-Moy *et al.*, (2006). Ceux-ci soutiennent que les conditions géomorphologiques et hydrologiques se positionnent comme les deux aspects les plus

déterminants dans la répartition des zones humides. Ce critère complété dérivé du modèle numérique de terrain (MNT) constitue le produit de base sur lequel Kindjinou (2013) a appliqué l'algorithme de caractérisation des bas-fonds de Linsoussi (2012) afin d'extraire le réseau hydrographique et de détecter les zones potentielles de bas-fonds au Togo. Cette technique est similaire, mais le critère NDVI n'a pas été pris en compte dans son étude, alors que la végétation est un facteur primordial dans l'identification des agro-écosystèmes de bas-fonds.

La méthode développée dans ce travail pour la réalisation de la carte de potentialité en bas-fonds a permis de répertorier tous les bas-fonds de la commune de Matéri ainsi que les bas-fonds aménageables dont la superficie inférieure ou égale à 25 ha. Ces bas-fonds identifiés peuvent déjà faire l'objet d'une mise en valeur car ils présentent des caractéristiques hydrologiques et morphologiques qui correspondent aux critères de mise en valeur proposés par le DIARPA (Windmeijer *et al.*, 2002, cité par Chabi *et al.*, 2010).

A la lumière des résultats exposés, il paraît évident que l'usage de l'imagerie Landsat ETM+ combiné à l'image ASTER DEM peut être indiqué pour les études d'identification des zones humides de bas-fonds. De plus, cette méthode adoptée et complétée est facile à mettre en œuvre d'un point de vue informatique et offre une multitude d'outils d'aide à l'interprétation des données. Elle a permis d'obtenir des résultats satisfaisants et s'est montrée plus rapide que l'approche classique qui consiste à aller directement sur le terrain pour faire un levé direct et plus systématique et qui nécessiterait plus de temps, de coût et de moyen surtout si l'espace à couvrir est plus étendu.

Cette méthode d'inventaire du potentiel en bas-fonds par la télédétection et le Système d'Information Géographique bien que adéquat et fiable, nécessite l'utilisation des images à très grande résolution pour une validation exacte des zones potentielles en bas-fonds en dehors des points de géolocalisation.

## CONCLUSION

Le présent article a montré le potentiel en bas-fonds aménageables de la commune de Matéri à travers une analyse multicritère qui a pris en compte l'indice de végétation (NDVI), la pente inférieure ou égale à 2%, les zones de forte accumulation d'eau et la superficie du bas-fond inférieure ou égale à 25 ha. Il a analysé d'abord les critères d'identification de ces zones à haute potentialité agricole et a ensuite abouti à la cartographie des bas-fonds aménageables.

L'article met en évidence trois caractéristiques des bas-fonds par rapport au bassin versant dans lesquels ils se retrouvent. Ces zones présentent une relative résistance face aux aléas climatiques, notamment le déficit pluviométrique actuel. Ils occupent

une place de choix dans les systèmes de production (rizicole, maïsiculture, etc.) et suscitent l'intérêt des actifs dynamique dans leurs exploitation et gestion.

La carte du potentiel en bas-fonds réalisée est un instrument d'aide à la localisation géographique des zones de forte potentialité agricole en vue de pallier un tant soit peu aux contraintes des changements climatiques. Elle pourra servir aux projets de développement agricole dans la réalisation des ouvrages d'aménagement hydro-agricoles afin de contribuer à leur mise en valeur.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AGBOSSOU (E. K.), SITONDI (L. O.), AHAMIDE (B.) et ZOKPODO (B. L.), 2010. Manuel des techniques endogènes d'irrigation au Bénin, Laboratoire d'Hydraulique et de Maitrise de l'Eau, FSA/UAC, 45 p.
- AHOUCANDJONOU (N.), 2004. Pression urbaine sur les milieux humides : cas des vallons de Zounvi et de Boué à Porto-Novo. Mémoire de maitrise en géographie, FLASH/UAC, Bénin ; 78 p.
- CHABI (A.), OLOUKOI, (J.), MAMA, (V. J.) et KIEPE, (P.), 2010. « Inventaire par télédétection des agro-écosystèmes de bas-fonds dans le centre du Bénin » in *Cahiers Agricultures*, vol. 19, n° 6. pp. 446-453.
- CETE Nord-Picardie, 2009. Pour comprendre le présent et construire un avenir durable. Atlas des zones de ruissellement de l'Oise, Méthodologie de construction des données, DDE60 / SAUE, 13 p. [www.oise.equipement.agriculture.gouv](http://www.oise.equipement.agriculture.gouv), consulté le 18/03/2013 à 23h 38 mm
- DANVI (C.) et MAMA (V. J.), 1998. Etat et l'art de valorisation des bas-fonds au Bénin. Rapport de projet, Unité nationale de coordination du Consortium bas-fonds, Cotonou, 65 p.
- DAVRANCHE (A.), 2008. « Suivi de la gestion des zones humides camarguaises par télédétection en référence à leur intérêt avifaunistique, Thèse doctorale en Géographie, Sciences de l'Homme et Société, Université de Provence – Aix-Marseille, 235 p.
- DIMON (R.), 2008. « Adaptation aux changements climatiques : Perceptions, Savoirs locaux et Stratégies d'adaptation développées par les producteurs des communes de Kandi et de Banikoara Nord du Bénin » Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome, (DESAC), UAC/FSA, 209 p.

- DJOUFACK (M. V.), 2011. Étude multi-échelles des précipitations et du couvert végétal au Cameroun : Analyses spatiales, tendances temporelles, facteurs climatiques et anthropiques de variabilité du NDVI, Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Géographie (option Climatologie) de l'Université de Bourgogne et de l'Université de Yaoundé, 303 p.
- HUBERT-MOY (L.), MICHEL (K.), CORPETTI (T.) et CLEMENT (B.), 2006. « Object-oriented mapping and analysis of wetlands using SPOT-5 data » in *Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IGARSS 06, 2006 IEEE International, pp. 3447-3450.
- IGN Paris, 1960. Carte de l'Afrique de l'Ouest, Feuille topographique de Sansanné-Mango, de Natitingou et d'Arli au 1/200 000, Service géographique à Dakar, 1ere édition: Décembre 1960, République du Dahomey, Feuilles NC-31-XIII, NC-XIV et NC-31-XX XXI
- IGN Paris et IGN Cotonou, 2000. Carte générale à 1/600 000 de la République du Bénin, 2ième édition.
- INSAE, 2003. Troisième recensement général de la population et de l'habitation, Synthèse des résultats, Institut national de la statistique et de l'analyse économique, Cotonou, 34 p.
- IOANA-TOROIMAC (G.), ZAHARIA (I.), BIGOT (S.) et BELTRANDO (G.), 2006. «Activité végétale et caractéristiques hydroclimatiques en dobroudja (Roumanie) : l'apport des données spot-4 végétation » Publié sous l'enseigne *Éditions Scientifiques GB, Télédétection*, vol. 6, n° 3, pp. 195-204.
- JAMIN (J. Y.), BIAOU (F.), LEGOUPIL (J. C.) et 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).
- KINDJINO (A. T.), 2013. Cartographie des bas-fonds à l'aide de la télédétection et des données secondaires et intensification culturale au Togo. Master of science en Géo-Information et ses applications à la gestion intégrée des eaux et des écosystèmes (GAGIEE) à la Chaire Internationale en Physique Mathématique et Applications, (CIPMA - chaire UNESCO), FAST/UAC, 80 p.
- LEGOUPIL (J. C.), LIDON (B.), BLANCHET (F.) et JAMIN (J. Y.), 2000. « Mise en valeur et aménagement des bas-fonds d'Afrique de l'Ouest : proposition d'un outil d'aide à l'aménagement ». *Le diagnostic rapide de pré-aménagement (DIARPA), Synthèse des résultats du Cirad et de ses partenaires sur la caractérisation des bas-fonds et l'intensification de leur mise en valeur*, Bouaké, (cédérom).

- LEROUX (L.), 2012. « Analyse diachronique de la dynamique paysagère sur le bassin supérieur de l’Ouémé (Bénin) à partir de l’imagerie Landsat et MODIS- Cas d’étude de la commune de Djougou ». in *Hydrosciences*, Montpellier, ANR ESCAPE, 62 p.
- LINSOUSSI (C. A.), 2012. « Algorithm for characterizing inland valley systems using a digital elevation model (DEM) » personal communication, PDF *Remote sensing and GIS in AfricaRice*, ICAT (Institut Togolais de Conseil et Appui Technique (DGMN, 2012), ICMIPA publishing 2013.
- MAHAMAN (M.) et WINDMEIJER (P. N.), 1995. « Exemple d’utilisation d’un système d’information géographique pour la caractérisation agro-écologique multi-échelle des bas-fonds » in Jamin (J. Y.), Windmeijer (P. N.) (eds), *La caractérisation des agroécosystèmes de bas-fonds : un outil pour leur mise en valeur durable*. Actes du 1er Atelier scientifique du Consortium Bas-fonds, ADRAO, Bouaké, Côte d’Ivoire, 8-10 juin 1993, IVC/CBF, pp.191-202.
- 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.
- OUOROU (B. F. I.), 2010. *Variabilité climatique et production agricole dans les communes de Tanguieta et Materi*. Mémoire du Diplôme D’Etudes Approfondies (DEA), UAC/FLASH –FAST-CUSTE, 109 p.
- PDC, 2011. *Plan de Développement Communal avec l’appui technique de la SNV/Bureau Conseils Natitingou et l’appui financier du PRODECOM / UE / Mairie de Materi*. Commune de Materi, Département de l’Atacora, République du Bénin.
- ProAgri/GIZ, 2011. *Stratégie d’Intervention du Programme Promotion de l’Agriculture dans les départements l’Atacora, Donga, du Borgou, de l’Alibori, et des Collines*. Version actualisée Déc. 2011, 42 p.
- RNI, 2008. Rapport National d’Investissement au Bénin », *Conférence de Haut Niveau sur : L’eau pour l’agriculture et l’énergie en Afrique : les défis du changement climatique*. Syrte, Jamahiriya Arabe Libyenne, pp.15-17 ; <http://www.sirtewaterandenergy.org/docs/reports/Benin-Rapport2.pdf>, consulté le 01/27/2012.
- SNDR, 2011- *Rapport de la semaine de travail sur la préparation de l’opérationnalisation de la Stratégie Nationale pour le Développement de la*

*Riziculture (SNDR) au Benin*, Infosec de Cotonou, du 18 au 22 juillet 2011, 12 p.

TUCKER (C. J.), 1979. «Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation», in *Remote Sensing of Environment*, n° 8, pp. 127-50.

WINDMEIJER (P. N.), DUGUE (M. J.), JAMIN (J. Y.) et VAN DE GIESEN (N.), 2002. «Describing hydrological characteristics for inland valley development » in *Proceedings of the Second Scientific Workshop of the Inland Valley*, Consortium/Présentation des caractéristiques hydrologiques de la mise en valeur des bas-fonds, Compte rendu du Deuxième Atelier Scientifique du Consortium Bas-fonds, Bouaké, 2002.