
VULNERABILITE D'UN ESPACE SOUS PRESSION AGROPASTORALE DANS LE BASSIN VERSANT DE YAKOUTA AU BURKINA FASO

**OUÉDRAOGO Blaise¹, OUÉDRAOGO Lucien¹, KABORÉ Oumar¹ et
ZOUNGRANA Tanga Pierre²**

¹ : Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, Centre de Recherches Environnementale, Agricole et de Formation (CREAF) de Kamboinsé, E-mails : blaise32fr@yahoo.fr, lucienouedraogo@yahoo.fr, oumarkabore@hotmail.com

² : Université Ouaga I Pr Joseph KI-ZERBO, E-mail : tpzoung@gmail.com

RESUME

Le Sahel est caractérisé par une situation d'insuffisance en eau parfois dramatique depuis les sécheresses des années 1970 et 1980. Aussi, les plans d'eau sont-ils devenus de véritables points d'attraction des agropasteurs pour leurs activités dont l'ampleur est à l'origine des modifications de la succession végétale et de la dégradation du milieu. Dans le bassin versant de Yakouta, cette situation compromet la viabilité des systèmes de production et menace la sécurité alimentaire.

L'objectif de cet article est d'évaluer l'expansion spatiale de la dégradation du milieu sous l'emprise des activités agropastorales.

La démarche méthodologique a consisté à intégrer des données biophysiques et socio-économiques dans le système d'information géographique et de faire une modélisation par analyse multicritère.

Les résultats obtenus ont permis d'évaluer et de différencier les niveaux de pression exercée par les activités agropastorales. Les indicateurs de pression identifiés sont des axes sur lesquels la réflexion peut être menée pour une prise de mesures concertées en vue de lutter contre la dégradation des ressources naturelles.

Mots clés : Analyse multicritère, pression agropastorale, bassin versant, Yakouta, Burkina Faso

ABSTRACT

Vulnerability of space under agropastoral pressure in the Yakouta catchment in Burkina Faso

The Sahel is characterized by a dramatic water shortage since the droughts of 1970 and 1980. Since then water bodies become real attraction points for agropastoralists for their activities whose scope is causing changes in vegetation succession and environmental degradation. In the Yakouta's watershed, this undermines the sustainability of production and threatens food security systems.

The objective of this article is to evaluate the spatial expansion of environmental degradation under the influence of farming activities.

The methodological approach was to integrate biophysical and socioeconomic data through the Geographic Information System (GIS) and to apply a multi-criteria analysis modeling.

The results were used to assess and differentiate the levels of pressure exerted by agropastoral activities. Pressure indicators identified are routes on which reflection can be conducted for taking concerted action to fight against the natural resources degradation.

Keywords: Multi-criteria analysis, agricultural pressure, grazing pressure, watershed Yakouta, Burkina Faso

INTRODUCTION

L'accroissement rapide de la population et la forte variabilité du climat dans les pays du Sahel ont des conséquences néfastes sur l'évolution et les modes de gestion des ressources naturelles (Hien *et al.* 2004). En effet, le Sahel est caractérisé par une situation d'insuffisance en eau parfois dramatique depuis les sécheresses des années 1970 et 1980. Aussi, les plans d'eau sont-ils devenus de véritables points d'attraction des agropasteurs pour leurs activités. Dans le Sahel burkinabè, cette réalité est entretenue par l'insuffisance et le tarissement « prématuré » des points d'eau. L'impact des activités humaines est à l'origine des modifications de la succession végétale et de la dégradation du milieu. La croissance démographique et l'augmentation des besoins sont davantage sources d'exploitation des ressources naturelles (Labani *et al.*, 2006). Le bassin versant de Yakouta qui abrite le lac du même nom connaît des mutations profondes liées à l'augmentation de la population et du développement de l'agropastoralisme (Ouedraogo *et al.*, 2013 ; Ouédraogo, 2015). Face à la dégradation des conditions climatiques, la zone subit une occupation agropastorale de plus en plus importante qui risque de compromettre les systèmes de production et partant à la sécurité alimentaire. Plusieurs études en effet, montrent une dynamique du front agricole au détriment des zones pastorales (Zoungrana, 2011; Reenberg, A., 2009). Ainsi la question est de savoir si la saturation de l'espace du bassin versant ne compromet-elle pas la viabilité des systèmes de production ? L'hypothèse formulée stipule qu'il existe une forte pression des activités sur le milieu entraînant une dégradation de ce dernier. L'objectif principal de cet article est d'évaluer sur le plan spatial le degré de dégradation du milieu et spécifiquement de décrire les critères qui orientent l'installation des systèmes de productions agropastorales. Cet article s'articule sur trois (3) grands points: la présentation du site d'étude, les méthodes de traitement et d'analyse des données et les résultats obtenus.

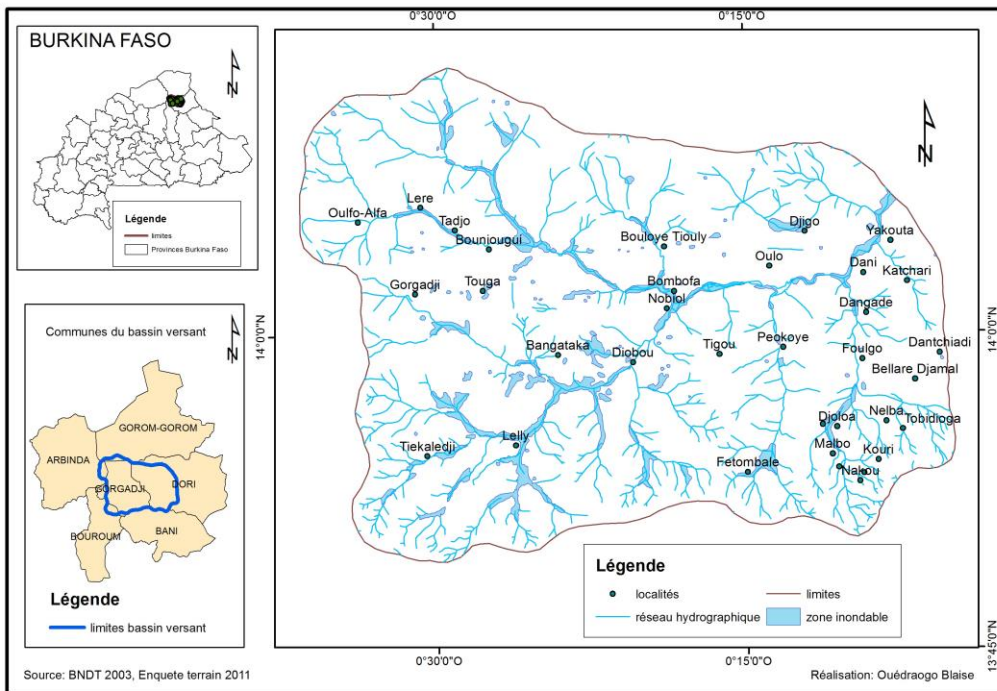
1. LE SECTEUR D'ETUDE

Le bassin versant de Yakouta (figure 1) est situé dans le Sahel burkinabè au-delà du 13^{ème} parallèle nord, précisément entre 13°49'18,12'' et 14°12'45,36'' de latitude nord d'une part, et entre 0°36'30,96'' et 0°4'55,2'' de longitude ouest d'autre part. Il couvre une superficie d'environ 1800 km².

Sur le plan administratif, il est à cheval sur les communes de Dori et de Gorgadji et compte 35 villages administratifs. Avec un taux d'accroissement de 2,9 % (SRAT, 2005), sa population est évaluée à 48 933 habitants. Il abrite le lac de Yakouta, d'une capacité de 26,5 millions de m³.

Le climat est de type sahélien, caractérisé par une pluviométrie aléatoire d'une moyenne annuelle de 480 mm entre 1961 et 2010 à la station de Dori. Les températures sont élevées et les moyennes journalières sont toujours supérieures à 30°C, avec des variations diurnes importantes. Sur le plan de la couverture végétale, la principale unité de végétation dans ce domaine est la steppe qui est une formation mixte de ligneux et de graminées.

Figure 1: localisation du site de recherche



2. METHODES, MATERIEL ET DONNEES

2.1. Méthodologie de la recherche

La démarche méthodologique est basée essentiellement sur la combinaison des données de télédétection, d'enquêtes socioéconomiques et d'entretiens avec les acteurs du bassin versant de Yakouta. Cette démarche a été complétée par une analyse multicritère (AMC).

- Le traitement de l'image de télédétection

Les canaux 4, 3 et 2 de l'image landsat ETM du 1^{er} février 2011 ont été utilisés et la méthode de classification s'est basée sur l'algorithme dite de maximum de vraisemblance. Cette méthode procède par le calcul de la probabilité d'appartenance d'un pixel à une classe donnée. Le pixel est affecté à la classe pour laquelle la probabilité est la plus forte (Bonn *et al.*, 1992). Cette classification a permis de déterminer 7 classes d'occupation à travers lesquelles on peut déterminer les zones de cultures et les zones de pâturages.

- Cartographie de la densité de population

La cartographie du facteur densité de la population du bassin se trouve confronter à des difficultés méthodologiques. En effet, la cartographie classique utilise le découpage territorial administratif comme référence (Bizet, 1997), mais dans le cas du bassin versant de Yakouta, les limites ne sont pas conventionnelles et ne coïncident pas avec les limites administratives. Des techniques de modélisation cartographiques plus contraignantes ont donc été adoptées, mais plus utiles pour l'analyse systématique de l'espace (Pumain *et al.*, 2010 ; Béguin et Pumain, 2010 ; Fotsing *et al.*, 2009 ; Caloz et Collet, 2011). En redistribuant la variable à cartographier (population) selon un maillage concentrique, la méthode des noyaux cherche d'une part à contourner les contraintes du découpage administratif (limites) et d'autre part à montrer l'effet du voisinage géographique entre unités du nouveau découpage et unités initiales sur la répartition des densités (d'où le paramètre distance dans la fonction). D'après les enquêtes sur le terrain la moyenne de distance de l'influence d'un village s'inscrit dans un rayon de 3 km. La possession des terres se limitant souvent à cette zone d'influence. Elle est représentée pour un cercle (C), avec $C = \Pi \times R^2$ avec $\Pi = 3,14$ et $R = 3$ km.

- La modélisation et l'analyse multicritère

L'identification des critères (facteurs et contraintes) susceptibles d'être pris en considération par l'AMC est l'étape la plus importante dans la modélisation spatiale. Le choix des critères a été fait à travers les enquêtes sur le terrain et validé par des personnes de ressources (guide d'entretien). Dans cette étude, les facteurs retenus sont au nombre de sept (7) : les champs, les bordures des plans d'eau, la densité de population, les routes, les cours d'eau, l'aptitude des sols et la végétation. Les contraintes sont des critères qui limitent l'expansion de la pression agricole ou pastorale. Dans le cas de la pression agricole, les contraintes sont essentiellement les sols encrouvés, les pâturages et les plans d'eau considérés comme entités. Pour la pression pastorale, les contraintes se résument aux champs pendant la saison pluvieuse et aux jardins en saison sèche.

- L'évaluation multicritère et la standardisation

Afin de rendre l'analyse plus réaliste, une fonction de distance-coût avec le module *r.cost* du logiciel GRASS a été déterminée pour chaque critère. La fonction de la distance varie pour chaque indicateur. Pour certains, la pression est maximum dès la présence de l'indicateur (zones d'activités agropastorales, villages); pour d'autres, il est maximum à une certaine distance (plan d'eau, cours d'eau). Le tableau I fait le récapitulatif des critères d'évaluation des différents facteurs.

Tableau I: Critères d'évaluation

Indicateur de pression	Début de pression	pression max à partir de	pression max jusque	Plus de pression au-delà de
Champ	0 m	0 m	0 m	0 m
Bordure des plans d'eau	0 m	100 m	300 m	500 m
Densité de population	0 m	0 m	0 m	0 m
Route	0 m	0 m	30 m	120 m
Cours d'eau	0 m	30 m	120 m	240 m
Végétation	0 m	0 m	0 m	0 m
Aptitude de sols	0 m	0 m	0 m	0 m

Pour intégrer plusieurs facteurs (qualitatif et quantitatif) dans le modèle (calcul de la pression résultante de l'occupation des terres), il a fallu les rendre comparables, autrement dit, d'exprimer la pression des différents facteurs sur une échelle commune. Dans le cas de la combinaison linéaire pondérée (CLP), les facteurs sont standardisés sur une échelle continue d'aptitude allant de 0 (le moins apte) à 255 (le plus apte). Voogd (1982) a proposé une revue de techniques de standardisation dont celles basées sur les minimum et maximum de leurs valeurs originales. Entre les deux, les valeurs croissent linéairement.

- La pondération des critères

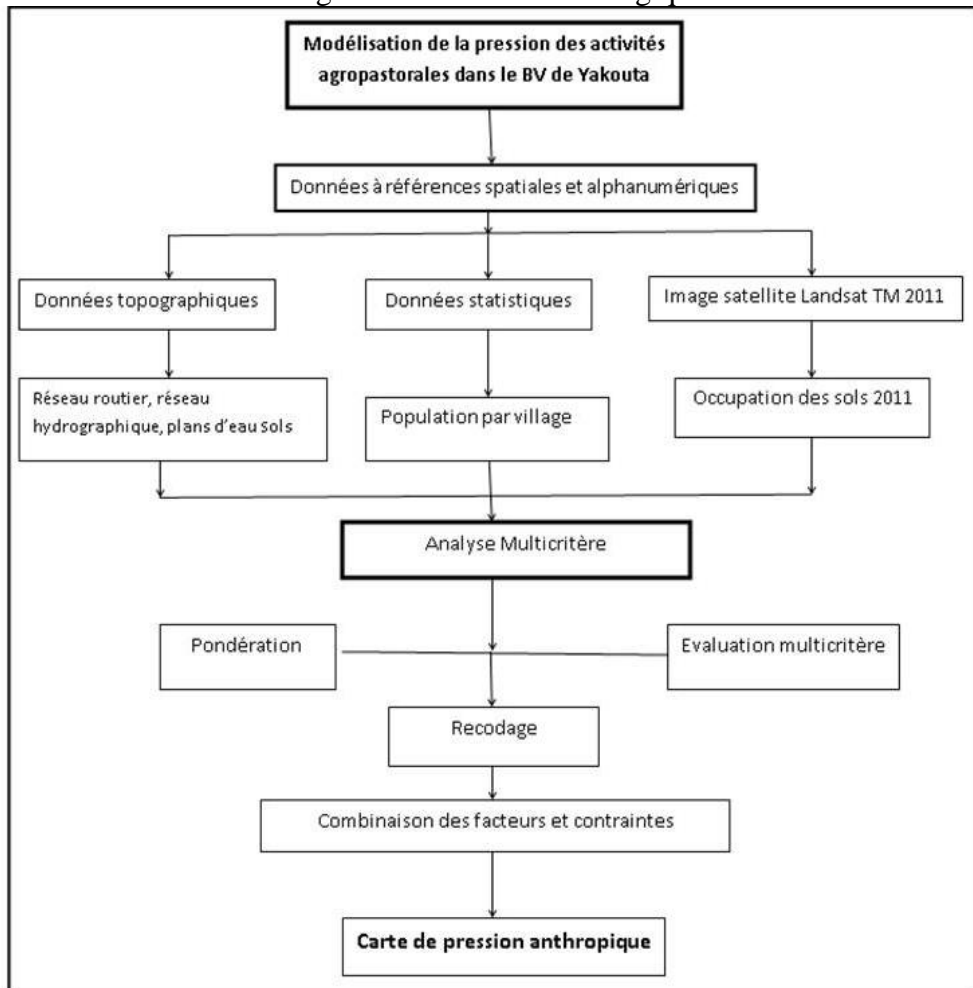
Une fois les critères établis, une des règles de l'analyse multicritère est de pondérer ces critères entre eux afin, de prendre en compte leur importance relative aux yeux des acteurs (tableau II). Dans l'enseignement, le cas des coefficients affectés aux matières lors de l'évaluation des élèves est un exemple simple de pondération des critères. Telle matière est jugée plus importante qu'une autre, son poids dans la moyenne sera donc supérieur.

Tableau 2 : valeur des poids des critères

Thèmes	Facteurs	Poids du facteur	Contraintes	Poids de la contrainte
Pression agricole	Champs	0,27	Sols inaptes	0,08
	Pistes	0,12	Plan d'eau	0,05
	Bordure de plan d'eau	0,18		
	Densité de population	0,15		
	Sols aptes	0,15		
Pression pastorale en saison sèche	Plan d'eau	0,48	Jardins	0,08
	Pistes	0,02		
	Pâturage (champs+ végétation)	0,42		
Pression pastorale en saison pluvieuse	Plan d'eau	0,23	champs	0,15
	Pistes	0,22	Sols nus	0,05
	Pâturage (végétation)	0,35		
Pression agropastorale en saison pluvieuse	Champs	0,24	Sols nus	0,10
	Pistes	0,15		
	Bordure de plan d'eau	0,13		
	Densité de population	0,15		
	Plan d'eau	0,12		
	Sols aptes	0,11		
Pression agropastorale en saison sèche	Pâturage (champs+ végétation)	0,25	jardins	0,10
	Pistes	0,05		
	Plan d'eau	0,45		
	Densité de population	0,15		

La pondération consiste donc à affecter un poids à chaque critère dont la valeur dépend de l'importance de chacun dans l'évaluation du résultat final. La somme de ces poids doit être égale à 1. Ce qui suppose que le poids affecté est un chiffre compris entre 0 et 1. Ce principe de pondération a guidé la confection des cartes thématiques. En effet, les cartes décrivant les paramètres ont été combinées sous le logiciel open Source GRASS 6.4. L'AMC s'appuie sur la formule $C = \sum W_i X_i * \Pi C_j$ où C, est l'indice composite, X_i est la valeur du facteur i normalisée, W_i est le poids de chaque facteur et C_j est la valeur de la contrainte j. Le poids des critères n'est pas le même dans l'évaluation de la pression agropastorale.

Figure 2: Cadre méthodologique



Source: Adaptée de Bensaïd, 2007

L'évaluation des poids des critères s'est faite selon la méthode AHP (*analytical hierarchy process*) développée par Saaty (1977) qui est celle des comparaisons par paire des critères. Les méthodes d'analyse spatiale multicritères interviennent essentiellement dans les fonctionnalités de superposition (*Overlay*) et d'algèbre spatiale, utilisées pour la modélisation d'aptitude. Dans la superposition de *rasters*, comme c'est le cas dans la présente étude, elle est apte à l'association des caractéristiques de nombreuses couches pour une seule couche de sortie.

2.2. Matériel et données

Pour la réalisation de l'étude, un certain nombre d'outils et de données ont été utilisés : une scène d'image Landsat, des bases de données, des cartes de sols, des questionnaires, un GPS et des logiciels.

- La collecte des données issues de la télédétection

Une image Landsat ETM+ L5194050_05020110201 du 01 février 2011 a été utilisée pour identifier les types d'occupation des terres du bassin versant. Le choix de la date de l'image au mois de février n'est pas fortuit mais correspond à la période où les marques des activités anthropiques sont toujours visibles et où le taux de couverture nuageux sur l'image est presque nul.

- La collecte des données terrain

L'enquête socio-économique a été réalisée par administration d'un questionnaire aux chefs de ménages au nombre de 160 (représentant 20 % des ménages) et ce dans quatre villages administratifs repartis sur l'ensemble du bassin versant (Yakouta, Oulo, katchari, Bombofa). Des fiches d'entretiens semi structurés ont été administrées auprès de personnes ressources en vue d'obtenir leurs perceptions sur les raisons qui orientent la mise en place des systèmes de productions.

- La collecte de données de population

Les données du recensement de population et de l'habitat 2006 (INSD, 2009) ont été extrapolées avec un taux de 2,9 % l'an sur les effectifs des villages du bassin versant. La population du bassin versant est estimée à 48933 habitants.

- La base nationale de données topographiques (BNDT, 2003) a permis d'extraire les couches vectorielles (cours d'eau, routes, plan d'eau, villages). Toutes les données cartographiques obtenues ont été mises à la même référence géographique ;
- La base de données des bas-fonds de Sahel Integrated Lowland Ecosystem Management (SILEM / INERA) au 1/50 000 de 2004 a servi à la détermination du potentiel en bas-fonds ;
- La carte des sols de l'Office de la Recherche Scientifique et Technique d'Outre-Mer (ORSTOM) de 1973, au 1/500 000 a été exploitée pour caractériser le potentiel des sols du bassin versant ;
- Un GPS a servi à la collecte des coordonnées des points de contrôle terrain pour la validation du traitement de l'image.
- Le questionnaire pour les ménages et des fiches d'entretiens semi-structurés ont été administrés.
- Les logiciels Envi 4.8, GRASS 6.4 et Arc Gis 10 ont permis le traitement et l'analyse des données.

3. RESULTATS

La configuration de l'espace liée aux activités humaines, l'expression spatiale de la pression liée aux activités, les implications de la pression agropastorale sur les systèmes de production constituent les principaux axes de résultats explorés.

3.1. La configuration de l'espace liée aux activités humaines

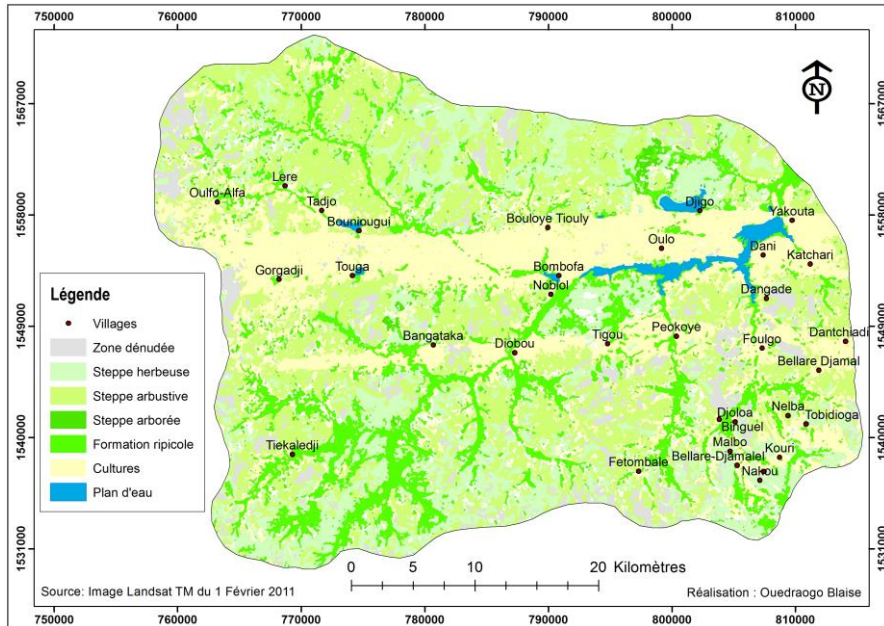
La carte d'occupation des terres (figure 3) présente les classes suivantes : plan d'eau, cultures, steppes (arbustive, arborée, herbeuse), formation ripicole et sols nus. Cette occupation révèle une emprise des activités agropastorales sur le milieu. Plus de 32 % de la superficie du bassin versant sont occupés par l'agriculture (tableau II).

Tableau 2 : Unités d'occupation des terres

Unités d'occupation 2011	Superficie en ha	Superficie en pourcentage
Cultures	55376	30,53
Eau	2115	1,22
Sol nu	11151	6,14
Steppe arborée	1201	0,64
Steppe arbustive	54611	30,11
Steppe herbeuse	30426	16,77
Formation ripicole	26478	14,59
Total	181360	100,00

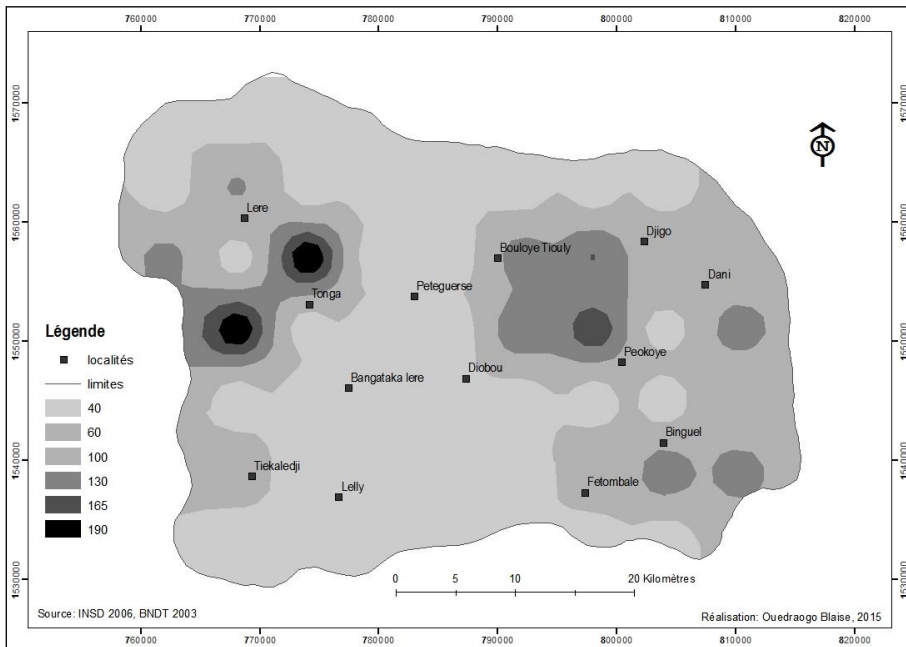
Les formations végétales (62,11 %) sont susceptibles d'être des zones de pâturage et les 37,89 % appartiennent aux autres types d'occupation dont 30,53 % pour l'agriculture.

Figure 3: Carte d'occupation des terres du bassin versant en 2011



La carte de densité de la population élaborée à partir de la méthode des noyaux montre une inégale répartition spatiale de la population (figure 4).

Figure 4 : La densité de population



Les zones de forte concentration de population sont situées dans les localités de Bouniougui, Gorgadji avec une densité de plus de 190 habitants/km². Oulo, Bombofa et Yakouta ont une densité d'environ 100 habitants au km². La concentration de la population est guidée par la présence de certaines opportunités telles que l'accessibilité (routes) et les ressources naturelles. On note que les fortes concentrations sont sur les abords des plans d'eau.

3.2. L'expression spatiale de la pression liée aux activités

La cartographie de la pression des activités humaines sur le bassin versant de Yakouta a donné les résultats suivants : la carte de la pression agricole, les cartes de la pression pastorale en saison sèche et en saison pluvieuse et la carte de la pression agropastorale en saison pluvieuse.

3.2.1. La pression de l'activité agricole sur le milieu

La pression agricole est le résultat de la combinaison entre plusieurs facteurs: densité de la population, proximité des cours et plans d'eau, champs, sols et pistes (figure 5 A). L'extension des zones agricoles est par contre limitée par les zones de pâturages, des surfaces d'eau et par les zones dénudées. Les activités agricoles exercent une pression élevée sur une superficie de 6,18 % de la superficie du bassin versant, modérée à 76 % et faible à 16,97 %. La pression agricole est plus forte sur les dunes où s'installent les champs de cultures et ne couvre que 0,68 % du bassin.

3.2.2. La pression de l'activité pastorale sur le milieu

La pression pastorale sur le milieu varie selon la saison.

- en saison pluvieuse

La pression pastorale en saison pluvieuse (figure 5 B) est globalement modérée et les fortes pressions sont isolées avec une occupation relativement faible (0,56%).

- en saison sèche

Pour la pression pastorale en saison sèche (figure 5 C), elle est d'échelle faible à 5,7 %, modérée à 85,48 % et élevée à 8,82%. Elle se localise en bordure des plans d'eau où elle est élevée à modérée et faible dans les zones à faible ressource en eau.

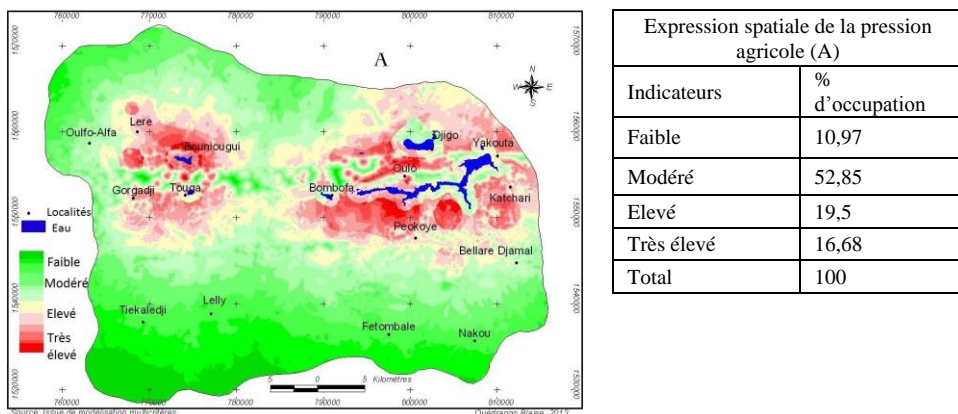
3.2.3. La pression de l'activité agropastorale sur le milieu

La carte de pression agropastorale (figure 5 D) est la photographie du bassin versant au moment où les deux activités sont menées, c'est-à-dire en période pluvieuse. En saison sèche, le maraichage est pratiqué mais à des superficies très marginales.

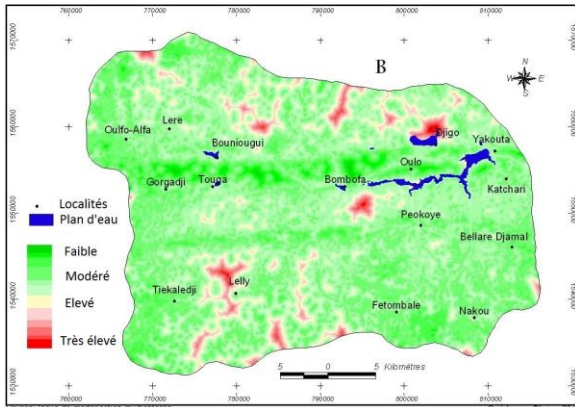
L'importance des facteurs dans l'expression des différentes pressions a été caractérisée par le module *r.regression.line* de GRASS qui calcule une régression linéaire pour deux couches matricielles suivant l'équation $y = a + b*x$.

Le calcul des coefficients de corrélation entre la carte de pression et les facteurs qui la déterminent a permis de distinguer les facteurs essentiels qui orientent la tendance de la pression sur le bassin versant. Il est très plausible que le facteur eau, en terme de disponibilité soit de loin le facteur principal qui explique la forte pression sur le milieu. Pour la pression agricole, l'eau est à 89 % l'élément favorable à l'installation des champs contrairement au facteur aptitude des sols (31 %). En saison sèche, l'eau détermine à 94% la présence des activités et particulièrement le pastoralisme. Le facteur densité de population est aussi important et détermine à 50 % la pression agricole et à 36 % la pression pastorale.

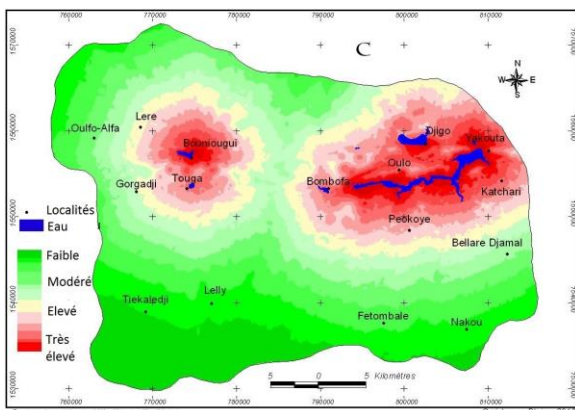
Figure 5 : Expression spatiale de la pression des activités agropastorales sur le bassin de Yakouta



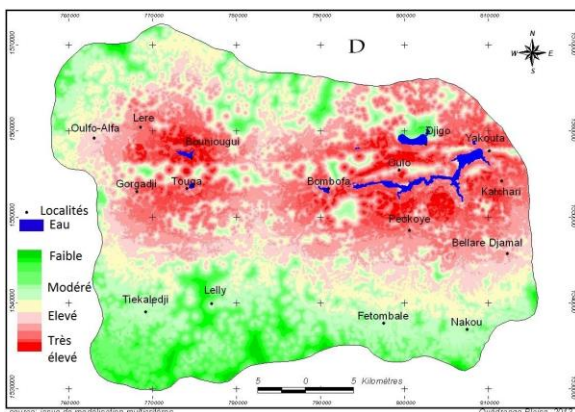
VULNERABILITE D'UN ESPACE SOUS PRESSION AGROPASTORALE DANS LE BASSIN VERSANT DE YAKOUTA AU BURKINA FASO



Expression spatiale de la pression pastorale en saison pluvieuse (B)	
Indicateurs	% d'occupation
Faible	5,7
Modéré	85,48
Elevé	8,26
Très élevé	0,56
Total	100



Expression spatiale de la pression pastorale en saison sèche (C)	
Indicateurs	% d'occupation
Faible	6,97
Modéré	55,97
Elevé	22,9
Très élevé	14,16
Total	100



Expression spatiale de la pression agropastorale en saison pluvieuse (D)	
Indicateurs	% d'occupation
Faible	4,76
Modéré	59,99
Elevé	24,33
Très élevé	10,92
Total	100

3.3. L'implication sur les systèmes de production

La pression sur le milieu a des conséquences sur l'occupation des terres et sur la disponibilité des ressources naturelles. Pour le système pastoral, le maintien de la population animale dans le terroir dépend de la

fragmentation de celui-ci, de la taille des îlots de parcelles élémentaires et le potentiel fourrager existant (Ouedraogo *et al.*; 2015). Pendant la saison pluvieuse, les champs dispersés occupent presque l'ensemble du bassin versant. Le pâturage épars rend difficile l'accès aux animaux ce qui entraîne la transhumance de saison pluvieuse. En saison sèche, avec le retour des troupeaux dans le bassin versant (à cause de la présence des ressources en eau), les bordures des plans d'eau comme nous indique la figure 5 C subissent une pression élevée. Les animaux viennent s'abreuver directement au barrage en empruntant des chemins non aménagés. Il en résulte une dénudation et un ameublissement du sol facilitant le transport des particules sous l'action du vent et du ruissellement. Les conséquences sont l'ensablement des plans d'eau et les conflits liés à la destruction des jardins par les animaux.

4. DISCUSSIONS

Di Meo (1991) postule que l'espace géographique est avant tout cette matérialité entre la nature et la société. En effet, l'espace est la vitrine de l'expression des activités de l'homme. Cette logique tient à une fonction selon laquelle plus les activités sur l'espace sont nombreuses plus la dégradation est persistante. Plusieurs études, utilisant plusieurs approches ont tenté de montrer le rapport des activités agropastorales et la dégradation du milieu. Une étude similaire effectuée par le programme ROSELT/OSS/IRA entre 2003 et 2005 a permis de calculer les indices de pression anthropiques sur les ressources naturelles en Tunisie. La méthode s'est appuyée sur l'utilisation du modèle SIEL (système d'information sur l'environnement à l'échelle locale) et le SIG (Mondher *et al.*, 2006) et est parvenue à des résultats exprimant les échelles de pressions (faible modéré et fort) semblables à celles déterminées dans cette étude. L'approche par analyse multicritères a aussi été utilisée dans plusieurs pays comme en Tunisie pour l'identification des zones prioritaires d'aménagement antiérosif des bassins versants (Zahar, 2007), en Algérie pour la localisation spatiale des zones à forte pression anthropique dans le département de Naâma (Bensaid *et al.*, 2007). Cette méthode fut également appliquée en Côte d'Ivoire pour la détermination de sites potentiels de stockage des déchets solides dans le district d'Abidjan (Kouamé *et al.*, 2007), au Burkina Faso pour l'identification des zones propices à la culture maraîchère dans la ville de Ouagadougou (Kédowidé, 2010) et pour la localisation des zones d'accès à l'eau en saison sèche au Sahel burkinabé (Ouedraogo *et al.*, 2013). Cependant, cette approche reste très délicate dans sa mise en œuvre. Sa robustesse et sa fiabilité reposent sur la précision des critères pris en compte

lors de la modélisation ainsi que sur leur pondération. La moindre sous-estimation dans la pondération d'un facteur de grande importance peut être fatale à la qualité du résultat espéré (Bensaid, 2007). Cette méthode fournit néanmoins une bonne base d'aide à la décision et permet d'intégrer la vision de la population (enquête) dans le processus de modélisation. Les résultats obtenus corroborent de façon générale les nombreuses études menées dans la région sahélienne et dans le monde.

CONCLUSION

La présente étude a mis en exergue l'importance des activités agropastorales dans la dégradation du milieu. Ces résultats montrent que la pression des activités agropastorales sur le milieu est globalement modérée. Cependant, le risque de déstabilisation du milieu n'est pas loin si des mesures de conservation et de restauration du milieu ne sont pas entreprises. Les indicateurs identifiés sont des axes sur lesquels peut s'appuyer la réflexion en vue d'une prise de mesures concertées pour une réduction de la dégradation des ressources. En agissant ainsi sur les facteurs déterminant la pression, on diminue la vulnérabilité du milieu.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- LABANI (A.), BENABDELI (K.) et KEFIFA (A.), 2006. « Fluctuations climatiques et dynamique de l'occupation de l'espace dans la commune de Ain El Hadjar (Saïda, Algérie) » in *Sécheresse* vol. 17, n° 3, pp. 391-398.
- BALZARINI (R.), DAVOINE (P.A.) et NEY (M.), 2011. Evolution et développement des méthodes d'analyse spatiale multicritère pour des modèles d'aptitude : l'exemple des applications en Géosciences. Laboratoire d'Informatique de Grenoble (LIG) équipes Steamer et Metah. ESRI France, Département Education et Recherche pp.1-25.
- BEGUIN (M.) et PUMAIN (D.), 2010. *La représentation des données géographiques : Statistique et cartographie*. Armand Colin 3è édition, 251 p.
- BENSAÏD (A.), BARKI (M.), TALBI (O.), BENHANIFIA K., MENDAS A., 2007, « L'analyse multicritère comme outil d'aide à la décision pour la localisation spatiale des zones à fortes pression anthropique : le cas du département de Naama en Algérie » in *Revue Télédétection*, vol. 7, n° 1-2-3-4, pp. 359-371.

- BERNUS (E.), 1995. « Pasteurs face à la sécheresse : rebondir ou disparaître ? » in *Revue de géographie de Lyon*. Vol. 70 n°3-4, 1995. pp. 255-259.
- BIZET (F.), 1997. « Carroyage et SIG: les chômeurs à Rouen », in *Mappe Monde* n 2, pp.32-34.
- BONN (F.) et ROCHON (G.), 1992. *Précis de télédétection. Principes et méthodes*. Sainte-Foy (Québec), Presse Universitaire de Québec.
- CALOZ (R.), COLLET (C.), 2011. *Analyse spatiale de l'information géographique*. Presses polytechniques et Universitaires romandes, 38 p.
- DI MEO (G.), 1991. *L'homme, la Société, l'Espace*. Paris : Anthropos, Economica, 319 p.
- HIEN (V.), BILGO (A.), SANGARE (S.), KAMBIRÉ (L.F.), KABORE (D.), LEPAGE (M.), SOME (L.), TRAORE/GUE (J.), SOME (B.) et TRAORÉ (K.), 2004. Projet 83 - Recherche sur des technologies de lutte contre la désertification au sahel et étude de leurs impacts agro écologiques. Rapport final. Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles, 91 p.
- INSD, 2009. Recensement General de la Population et de l'Habitation (RGPH) de 2006 analyse des résultats définitifs ; thème 2 : état et structure de la population. Ouagadougou, Burkina Faso., 181 p.
- KÊDOWIDE (C.M.G.), 2010. «Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection de sites d'agriculture à Ouagadougou.» In *VertigO – La revue en sciences de l'environnement*, volume 10, numéro 2, 20 pages. <http://vertigo.revues.org/10368>.
- KOUAMÉ (K.J.), DEH (S.K.), ANANI (A.T.), JOURDA (J.P.), BIEMI (J), 2007. « Gestion des déchets solides dans le District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire): Apports d'un SIG et des méthodes d'analyse multicritère ». Conférence francophone ESRI, Versailles de 10 au 11 octobre 2007.
- OUEDRAOGO (B.), 2015. Stratégies d'adaptation des agropasteurs à la variabilité climatique dans le bassin versant de Yakouta, Burkina Faso. Thèse de doctorat en Géographie. Université de Ouagadougou, 258 p.
- OUÉDRAOGO (B.), OUÉDRAOGO (L.), KABORÉ (O.), 2015 «Fragmentation de l'espace et conflits d'usage au sahel : cas du bassin versant de Yakouta (Burkina Faso) ». *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, December 2015, Volume 9, Number 6. ISSN 1991-8631 (Print), ISSN 1997-342X (Online).
- OUÉDRAOGO (L.), KABORÉ (O.), YANOOGO (P.I.), OUÉDRAOGO (B.), ZOUNGRANA (T. P.), BOUZOU MOUSSA (I.), 2013. « Changement climatique et modèle spatial de gestion de l'eau pluviale dans le bassin versant de Yakouta, Burkina Faso ». *Revue de géographie de l'Université de Ouagadougou*.01(2012), pp.1-20.

- OUEDRAOGO (L.), OUEDRAOGO (B.), KABORE (O.), YANOOGO (P.I.), ZOUNGRANA (T.P.), BOUZOU MOUSSA (I.), 2013. «Localisation des zones d'accès à l'eau en saison sèche par analyse multicritère dans le bassin versant du Goudébo (région de Yakouta, Burkina Faso)» <http://physio-geo.revues.org/3374>
- REENBERG (A.) 2009. « Getting the climate impact right: the complex dynamics of the agricultural frontline in the Sahel» IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, in IOP publishing, Copenhagen, n°6, pp. 25-34.
- SAATY, (T.L), 1977, A scaling method for priorities in hierarchical structures, Journal of mathematical Psychology, No 15, pp. 234-281.
- MINISTERE DE L'ECONOMIE ET DES FINANCES, 2005 : Schéma Régional d'Aménagement du Territoire (SRAT) de la Région du Sahel, 223 p.
- VERGEZ (A.), 2011. « Intensifier l'agriculture en Afrique, réponse aux défis alimentaires et environnementaux ». *Afrique contemporaine* n°237 vol. 1, pp. 29-43.
- VOOGD (H.), 1982. Henk. Multicriteria evaluation with mixed qualitative and quantitative data. *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 9, no 2, p. 221-236.
- ZAHAR (Y.), 2007. « Priorisation multicritère sur système à référence spatiale pour l'aménagement anti-érosif des bassins versants : démarche méthodologique et étude de cas pour la presqu'île du cap bon. » *new medit* 1, 55-63
- ZOUNGRANA (B.J.B.), 2011. La dynamique du front agricole dans le Sahel burkinabè : analyse spatio-temporelle. Mémoire de Master, Université de Ouagadougou. 106 p.