

**MODÉLISATION SPATIALE DE L'EFFICACITÉ DES STRATÉGIES
PAYSANNES D'ADAPTATION À LA VARIABILITÉ CLIMATIQUE DANS LE
BASSIN VERSANT DU MASSILI AU BURKINA FASO**

Sayouba ILBOUDO¹

Université Joseph KI-ZERBO de Ouagadougou, Burkina Faso
sayoubailboudo@gmail.com

&

Lucien OUEDRAOGO²

Institut de l'Environnement et de Recherches Agricoles (INERA) de Ouagadougou,
Burkina Faso
lucienouedraogo@yahoo.fr

&

Sidiki GUELBEOGO³

Université Joseph KI-ZERBO de Ouagadougou, Burkina Faso
gsidiki76@gmail.com.

Résumé : Dans le bassin versant du Massili, la variabilité des séquences pluviométriques saisonnières et la récurrence des événements pluvieux extrêmes ont des conséquences néfastes sur les productions agricoles. Pour minimiser ces impacts, les populations développent diverses stratégies d'adaptation. L'objectif de cette étude est d'analyser l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatiques. La méthodologie de recherche est basée sur la combinaison des systèmes d'information géographique et l'analyse multicritère. Plusieurs critères ont été retenus après les concertations avec les populations locales pour l'analyse de l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation. Ils ont été regroupés en deux principales catégories : les contraintes et les facteurs d'adaptation. La technique utilisée pour la pondération de ces critères est le Procédé de Hiérarchisation Analytique de Thomas Saaty (1977). Les facteurs ont été hiérarchisés sur une échelle d'aptitude allant de 0 à 100 %. Une classification en quatre catégories : très important, important, moyen et faible a été adoptée. La fonction *mapcalculator* du logiciel *GRASS GIS 7.2.2* a été utilisée pour modéliser les différentes opérations cartographiques. Pour tester l'efficacité des stratégies paysannes, trois scénarios de contraintes ont été opposés aux facteurs d'adaptation pour la modélisation. Les résultats montrent que les zones où les stratégies d'adaptation sont efficaces se localisent globalement au centre du bassin versant. Elles occupent une superficie de 30 760,52 ha, représentant 14,78 % de la surface totale. Cependant, il ressort des analyses que cette efficacité est largement tributaire des précipitations car en année de pluviométrie satisfaisante, les stratégies mises en œuvre par les paysans pour s'adapter à la variabilité climatique sont plus efficaces, mais en année de mauvaises précipitations, elles le sont moins.

Mots clés : Burkina Faso, Massili, bassin versant, modélisation spatiale, stratégies d'adaptation.

¹ Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Milieux et Territoires

² Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Milieux et Territoires

³ Laboratoire d'Études et de Recherches sur les Milieux et Territoires

SPATIAL MODELING OF THE EFFECTIVENESS OF FARMERS' STRATEGIES FOR ADAPTING TO CLIMATE VARIABILITY IN THE MASSILI WATERSHED IN BURKINA FASO

Abstract : In the Massili watershed, the variability of seasonal rainfall sequences and the recurrence of extreme rainfall events have negative consequences on agricultural production. To minimize these impacts, populations develop various adaptation strategies. The objective of this study is to analyze the effectiveness of farmers' strategies for adapting to climate variability. The research methodology is based on the combination of geographic information systems and multi-criteria analysis. Several criteria were selected after consultations with local populations for the analysis of the effectiveness of farmers' adaptation strategies. They have been grouped into two main categories: constraints and adaptation factors. The technique used for the weighting of these criteria is Thomas Saaty's Analytical Hierarchization Process (1977). The factors were ranked on a suitability scale ranging from 0 to 100%. A classification into four categories: very important, important, medium and low was adopted. The mapcalculator function of the GRASS GIS 7.2.2 software was used to model the different cartographic operations. To test the effectiveness of farming strategies, three constraint scenarios were contrasted with adaptation factors for modeling. The results show that the areas where adaptation strategies are effective are generally located in the center of the watershed. They occupy an area of 30,760.52 ha, representing 14.78% of the total area. However, it appears from the analyzes that this efficiency is largely dependent on rainfall because in a year of satisfactory rainfall, the strategies implemented by farmers to adapt to climate variability are more effective, but in a year of poor rainfall, they do so are less.

Keywords : Burkina Faso, Massili, watershed, spatial modeling, adaptation strategies.

Introduction

Au Burkina Faso, l'agriculture est la principale activité socioéconomique et la principale source de subsistance des populations locales (B. Ouédraogo, 2015, p. 12). Cependant, elle est particulièrement vulnérable aux effets néfastes des aléas climatiques (B. Ibrahim, 2012, p. 7). Sa faible productivité est due au fait qu'elle est tributaire des précipitations qui sont très variables dans le temps et dans l'espace (Partenariat ouest Africain de l'Eau, 2010, p. 21). Par ailleurs, les rendements agricoles sont incertains à cause, d'une part, des difficultés des paysans à appréhender le calendrier agricole et d'autre part, de l'occurrence des événements pluvieux extrêmes (A. Ouédraogo 2018, p. 11). À cela s'ajoute la baisse de la qualité agronomique des sols et la pression humaine sur les terres agricoles (I. P. Yanogo, 2012, p. 12). Ces crises agroclimatiques persistantes sont à l'origine de la baisse des rendements agricoles dans le bassin versant du Massili (T. P. E. Kaboré/ Botongo, 2015, p. 72). Bien qu'étant une zone de productions céréalières et maraîchères au profit de la ville de Ouagadougou, ce bassin versant est confronté à des problèmes de dégradation de son potentiel agricole du fait d'une situation climatique globalement défavorable (T. P. E. Kaboré/ Botongo, 2015, p. 72). En outre, la pression humaine, sur des terres agricoles déjà dégradées, s'accroît du fait de la forte croissance démographique et de l'arrivée de nombreux producteurs étrangers en quête d'eau et de parcelles culturales (O.

Ouédraogo, 2013, p. 1). Cette augmentation de la population constitue un facteur de dégradation des ressources naturelles en général et des terres agricoles en particulier (K. Sanou, 2015, p. 30).

Face aux impacts de la variabilité climatique sur les productions agricoles, des efforts sont déployés tant par les populations locales que par l'État et ses partenaires au développement. Des stratégies d'adaptation sont ainsi mises en œuvre pour y faire face. Cependant, dans un contexte de variabilité climatique accrue, il se pose alors la problématique de l'efficacité des mesures adaptatives développées par les paysans pour améliorer la productivité agricole et accroître leur résilience.

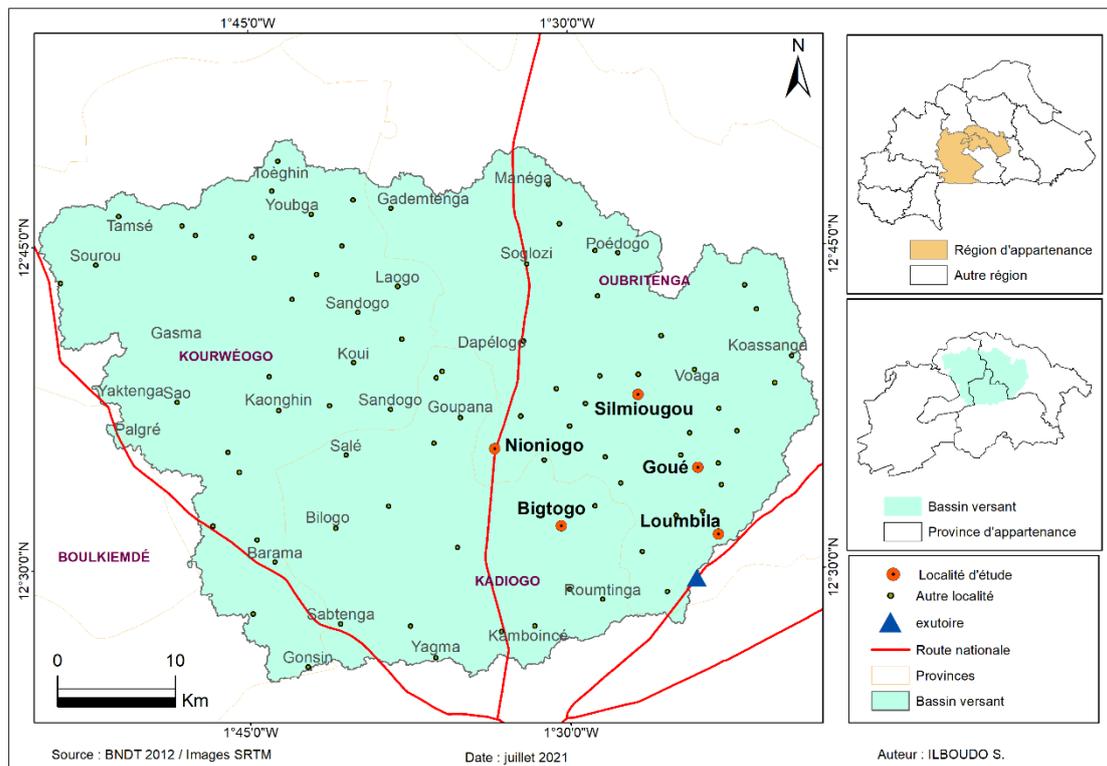
L'objectif de la présente étude est d'analyser, à partir de la combinaison des systèmes d'information géographique et de l'analyse multicritère, l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatique dans le bassin versant du Massili.

1. Matériels et méthodes

1.1. Présentation de la zone d'étude

Le bassin versant du Massili est situé au centre du Burkina Faso dans le domaine climatique soudano-sahélien entre les isohyètes 600 mm au nord et 900 mm au sud. Son régime climatique est unimodal et se caractérise par l'alternance d'une saison sèche et d'une saison pluvieuse. La saison des pluies dure en moyenne quatre mois. Juillet et août sont les mois les plus pluvieux. La zone d'étude est à cheval entre les provinces de l'Oubritenga, du Kadiogo, du Boulkiemdé et du Kourwéogo. Elle couvre une superficie de 2 120 Km² et est située entre 12°24'48'' et 12°49'57'' de latitude nord et entre 1°18'12'' et 1°54'54'' de longitude ouest (carte 1).

Carte 1 : Situation du bassin versant du Massili



Le relief du bassin versant est caractérisé par une pénéplaine peu élevée (de 200 à 400 m d'altitude et des pentes de 1 à 2 %). La plaine est l'unité géomorphologique la plus importante de la zone d'étude au regard de son étendue. La plupart des activités socioéconomiques paysannes s'y déroulent.

Les principales unités pédologiques rencontrées sont les sols ferrugineux tropicaux (qui occupent la majeure partie de la surface du bassin versant). S'y ajoutent les lithosols sur cuirasse (isolés au centre-est, au sud et au sud-ouest), les sols bruns eutrophes (occupant de petites portions d'espace au nord-est et à l'est) et les sols hydromorphes (qui se localisent à proximité des cours et des retenues d'eau de la zone d'étude). Dans l'ensemble, ces sols sont pauvres et dégradés.

Le réseau hydrographique est alimenté principalement par le fleuve Massili qui traverse la zone d'étude. C'est un affluent du fleuve Nakanbé. Il est alimenté par de nombreux ruisseaux de faibles débits et d'écoulements intermittents qui tarissent précocement en saison sèche. Les écoulements débutent entre mai et juin et s'achèvent entre octobre et novembre. Les cours d'eau connaissent le maximum de débit en août avec une moyenne journalière de 11,8 m³/s.

La savane arbustive est la formation végétale la plus dominante. Elle est composée majoritairement d'espèces tels que *Acacia dudgeoni*, *Annona senegalensis*, *Balanites aegyptiaca*, *Combretum glutinosum*, *Guiera senegalensis*, *Vitellaria paradoxa* et *Piliostigma reticulatum*.

Les populations, composées majoritairement de moosé, mènent diverses activités socioéconomiques notamment l'agriculture pluviale et l'élevage extensif sédentaire. Cependant, le maraîchage est la principale activité génératrice de revenus de ces communautés locales. La tomate et l'oignon sont les cultures maraichères les plus produites dans le bassin versant. Selon les statistiques du Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-agricoles (2020, p. 333), la zone d'étude a enregistré en 2018, une production annuelle de 10 066 tonnes de tomate et de 20 190 tonnes d'oignon.

1.2. Collecte des données

1.2.1. Données de terrain

Une sortie de terrain effectuée entre les mois d'avril et de mai 2021 a permis de collecter certaines données auprès des populations de cinq localités du bassin versant du Massili. Il s'agit de Loumbila, de Goué, de Silmiougou, de Bigtogo et de Niniogo. Le choix de ces villages se justifie par un certain nombre de critères notamment géographiques, socioéconomiques et démographiques.

Les échanges avec les paysans ont porté sur les impacts de la variabilité climatique sur les productions agricoles, les stratégies d'adaptation et leur efficacité. Un questionnaire individuel, des guides d'entretien et un GPS ont servi d'outils de collecte. Le questionnaire a été adressé aux chefs de ménages âgés de 40 ans et plus et ayant une durée de vie dans le village d'au moins 20 ans. La méthode raisonnée a été utilisée pour l'identification de la population cible dans les sites d'étude. L'échantillonnage standard ou échantillonnage à quota a été utilisé pour déterminer le nombre de personnes à interroger. Le taux de sondage appliqué à l'ensemble des localités d'enquête est de 10 %. Au total, 234 personnes ont été interrogées et 13 focus

groupes réalisés auprès des groupements de producteurs agricoles et de femmes des localités d'étude.

La géolocalisation des aménagements hydroagricoles et des pratiques de conservation des eaux et des sols a été faite à l'aide du GPS.

De plus, des focus groupes ont été réalisés auprès des groupements d'hommes, de femmes et de producteurs agricoles des localités d'étude.

La géolocalisation des aménagements hydroagricoles et des pratiques de conservation des eaux et des sols a été faite à l'aide du GPS.

1.2.2. *Collecte des données spatiales*

Des images SRTM ont été téléchargées sur le site de l'Institut d'Etudes Géologiques des Etats-Unis. Elles ont permis de délimiter la zone d'étude.

Les données spatiales sur l'aptitude agronomique des sols ont été acquises auprès du Bureau National des Sols (BUNASOLS) et celles concernant la Base Nationale de Données Topographiques (BNDD) de 2012, auprès de l'Institut Géographique du Burkina (IGB).

Des images Landsat OLI (*Operational Land Imager*) de 2019 ont été acquises auprès du Secrétariat Permanent du Conseil National sur le Développement Durable (SP/CNDD). De plus, des images hautes résolutions de Google Earth ont été téléchargées sur internet et numérisées. Toutes ces images ont permis d'obtenir des informations spatiales sur certaines pratiques agricoles et l'occupation des terres dans le bassin versant.

1.3. *Traitement des données*

1.3.1. *Traitement des données de terrain*

Pour rendre les données collectées exploitables, il a été procédé à leur traitement grâce à des outils différents.

Ainsi, le logiciel de statistique Sphinx+ 5.1.0.4 a été utilisé pour le dépouillement du questionnaire afin de rendre les données sous forme numérique et facilement utilisables.

Le tableur « EXCEL » du logiciel « Microsoft Office 2016 » a permis de faire le traitement statistique des données. « WORD » a servi à la saisie et à la mise en forme du texte.

Le logiciel expert GPS a été utilisé pour le transfert des données spatiales collectées sur le terrain et leur enregistrement sous le format Shape.

1.3.2. *Traitement des images satellitaires et cartographie*

Le traitement et la numérisation des images Landsat et SRTM ont été réalisés avec le logiciel QGIS 3.14.0. Ce logiciel a permis également de faire l'importation et la conversion des formats de données. La classification des images Landsat s'est faite selon la composition colorée 5/4/3. Pour améliorer la perception visuelle des différentes unités d'occupation du sol et faciliter leur analyse et interprétation, il a été appliqué à la composition colorée, un rehaussement des images. La classification

dirigée à l'aide de l'algorithme du maximum de vraisemblance a été appliquée à chaque image afin d'identifier les différentes unités d'occupation des terres. Cette classification consiste à appliquer le même traitement à chaque pixel, indépendamment des pixels voisins. Il a été ensuite procédé à la vectorisation qui consiste à convertir les images classifiées du mode raster en mode vecteur dans le but de faciliter leur gestion dans un logiciel d'analyse SIG. Les images classifiées et vectorisées ont servi enfin à l'analyse de l'occupation spatiale et à la réalisation de la cartographie.

Le logiciel Google earth pro a servi à la numérisation des images afin d'obtenir des données spatiales concernant certaines stratégies d'adaptation à la variabilité climatique mises en œuvre dans la zone d'étude tels que les cordons pierreux, le zaï, les diguettes en pierres, etc.

Le logiciel GRASS GIS 7.2.2 a permis de faire les analyses cartographiques multicritères, la modélisation spatiale, l'analyse de l'efficacité des stratégies d'adaptation et ARCGIS 10.3 pour la réalisation des différentes cartes.

1.4. Modélisation spatiale

Dans la présente étude, l'analyse multicritère à référence spatiale (AMC-RS) a été utilisée pour la modélisation spatiale. Ces différentes étapes sont les suivantes :

1.4.1. Choix des critères

Le critère est un facteur à prendre en considération pour évaluer un scénario donné ou pour apprécier une occasion d'action (A. Laaribi, 2000 cité par L. Ouédraogo, 2012, p. 42). Il permet de mettre en évidence les indicateurs qui auront le plus d'impact dans la décision finale (S. Mohamed El Amraoui, 2017, p. 79). Plusieurs critères ont été retenus après les échanges avec les populations locales pour les analyses. Ces critères ont été reconnus par les paysans comme ayant un impact réel sur l'efficacité des stratégies d'adaptation à la variabilité climatique dans le bassin versant. Ils ont été regroupés en deux principales catégories : les contraintes et les facteurs d'adaptation à la variabilité climatique.

1.4.1.1. Contraintes d'adaptation

Les contraintes sont un indicateur qui limite la réalisation d'un phénomène. Lors des enquêtes de terrain, des contraintes naturelles majeures pouvant impacter l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation ont été répertoriées par les populations locales. Il s'agit des précipitations et des sols inaptes aux cultures. Le choix des précipitations s'explique par le fait que leur insuffisance ou leur excès, les débuts tardifs ou les fins précoces de saison, les sécheresses plus ou moins longues, etc., peuvent être préjudiciables aux productions agricoles. Par ailleurs, les sols érodés, les sols nus et les sols indurés sont des espaces inaptes aux cultures.

1.4.1.2. Facteurs d'adaptation

Les facteurs sont des critères favorables aux initiatives développées pour l'atteinte d'un objectif donné (C. M. G. Kédowidé, 2010, p. 6 ; L. Ouédraogo, 2012, p. 42).

Dans le bassin versant d'étude, il s'agit :

- des variables naturelles (végétation, sols, topographie, cours d'eau, bas-fonds, plans d'eau naturels, etc.) ;
- des variables humains (densité de population, routes, zones culturelles, techniques de production, retenues d'eau artificielles, points d'eau, périmètres aménagés, etc.).

1.4.2. Standardisation des critères

Elle consiste à normaliser les facteurs c'est-à-dire, à les hiérarchiser sur une échelle commune d'efficacité. Pour ce faire, nous avons eu recours à la Combinaison Linéaire Pondérée (CLP). Cette méthode a été utilisée car selon S. O. Chabi Adimi et al. (2018, p. 255) et J-L. K. ASSI et al. (2019, p. 56), elle permet d'intégrer plusieurs facteurs (qualitatif et quantitatif) dans le modèle et d'exprimer leur efficacité sur une échelle commune.

Dans cette étude, les intervalles de classes retenus tiennent compte de la réalité de la zone d'étude. Tous les facteurs ont été standardisés sur une échelle allant de 0 % (la stratégie la moins efficace) à 100 % (la plus efficace). Ainsi, la valeur maximale 100 % indique les zones où les stratégies d'adaptation sont les plus efficaces et 0 %, celles où les stratégies d'adaptation sont faibles selon les critères considérés.

1.4.3. Pondération des critères

La pondération consiste à attribuer à chaque facteur un coefficient en fonction de son importance par rapport aux autres facteurs (B. Ouédraogo, 2015, p. 49 ; J-L. K. ASSI et al., 2019, p. 56). La détermination des poids des facteurs été faite par les populations locales à partir d'un tableau de classification préférentiel. La méthode des comparaisons par paire par le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP) développée par T. L. Saaty (1977, p. 246) a été utilisée pour la pondération des critères. Cette méthode consiste à comparer les critères deux à deux en termes d'importance relative sur la base d'une échelle de pondération (S. O. Chabi Adimi et al., 2018, p. 255).

L'échelle de Saaty (tableau 1) se base sur le principe que si un critère A est 3 fois plus important qu'un critère B, alors B est 1/3 de fois important que A. De plus, si le critère A est plus important que le critère B et le critère C plus important que le critère A, alors le C est plus important que le B.

Tableau 1 : Échelle de Saaty pour la pondération des critères

Expression d'un critère par rapport à un autre	Degré d'importance
Même importance que	1
Modérément plus important que	3
Fortement plus important que	5
Très important que	7
Extrêmement plus important que	9

Modérément moins important que	1/3
Fortement moins important que	1/5
Très moins important que	1/7
Extrêmement moins important que	1/9

Source : D'après T. L. Saaty, 1977

1.4.4. Vérification de la cohérence des jugements

La validité et la pertinence du choix des critères ont été vérifiées à partir de l'Indice de Cohérence (IC). Cet indice mesure la fiabilité de la comparaison par paires de Saaty exprimée à des jugements cohérents (J-L. K. Assi et *al.*, 2019, p. 60). Il indique si les données ont un rapport logique entre elles. Plus l'indice devient grand, plus le jugement à la base des choix dans la matrice de comparaison est incohérent et vice-versa. La formule de calcul de l'indice de cohérence est la suivante :

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Où λ_{max} est une valeur calculée sur la base de la moyenne des valeurs de matrice de Saaty, des vecteurs propres et n est le nombre d'éléments comparés.

Pour évaluer la cohérence des jugements à partir de la méthode de comparaison par paires, le Ratio de Cohérence (RC) a été calculé. Il renseigne sur la cohérence en termes d'importances ordinales et cardinales des critères à comparer (S. Mohamed El Amraoui et *al.*, 2017, p. 84). Il se calcule à partir de la formule suivante :

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Où IA est un indice aléatoire fixé en fonction du nombre de critères.

Si RC est > 10 %, il y a une incohérence dans les comparaisons par paires et il faudrait alors reconsidérer la matrice. Par contre, si RC est < 10 %, la corrélation est significative, autrement dit la comparaison par paire des facteurs traduit une cohérence significative entre les différentes variables.

1.4.5. Agrégation des critères

Pour aboutir à une analyse unique et simpliste, les unités partielles mises en place et pondérées ont fait l'objet d'une agrégation par combinaison linéaire pondérée. Cette étape consiste à combiner toutes les variables pour déterminer la moyenne géométrique des jugements et obtenir une matrice unique de comparaison qui exprime l'importance de chacune. La méthode utilisée pour l'analyse est celle de la combinaison linéaire des valeurs des facteurs (X_i) pondérées par leur poids (W_i) et multiplié par le produit des contraintes (C_j). L'équation relative à cette méthode est la suivante :

$$C = \sum W_i X_i * \Pi C_j$$

Avec W_i : le poids de chaque facteur ; X_i : la valeur du facteur i normalisée et C_j : la valeur de la contrainte j .

1.4.6. Cartographie décisionnelle de l'efficacité des stratégies d'adaptation

La représentation cartographique de l'efficacité des stratégies d'adaptation repose sur les techniques de superposition pondérées mises en œuvre à travers l'analyse multicritère (C. L. M. DA, 2021, p. 161). La fonction mapcalculator du logiciel GRASS GIS 7.2.2 a été utilisée pour modéliser les différentes opérations cartographiques ayant permis d'appréhender les zones où les stratégies d'adaptation sont efficaces. L'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation a été déterminée à travers la formule suivante :

$$\text{Strategie_raster} = r.\text{mapcalc} \Sigma(\text{Fact_raster}) * 100 * \Sigma(\text{Contr_raster})$$

Où *Strategies_raster* est le resultat de la modélisation en format raster ; *r.mapcalc* est le calculateur des cartes ; *Fact_raster* représente l'ensemble des facteurs pondérés et *Contr_raster*, les contraintes d'adaptation dans le modèle.

Cette démarche a permis d'aboutir à la création d'une couche matricielle constituée de différents pixels représentant chacun des niveaux d'efficacité. Plus la valeur du pixel est élevée, plus l'efficacité de la stratégie est importante. La répartition spatiale des valeurs des différents pixels obtenus après superposition mathématique de plusieurs cartes de la zone d'étude a permis ainsi de ressortir les zones où les stratégies d'adaptation sont les plus efficaces.

2. Résultats

Dans le bassin versant du Massili, l'analyse multicritère a permis d'identifier les zones où les stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatique sont efficaces. Les variables retenues pour la simulation sont constituées des zones culturelles, des bas-fonds, des sols aptes aux cultures, du zaï, des cordons pierreux, des diguettes en pierres, des demi-lunes, des billons et des bandes enherbées.

Le tableau 2 présente le poids des facteurs d'adaptation.

Tableau 2 : Poids des facteurs d'adaptation paysanne

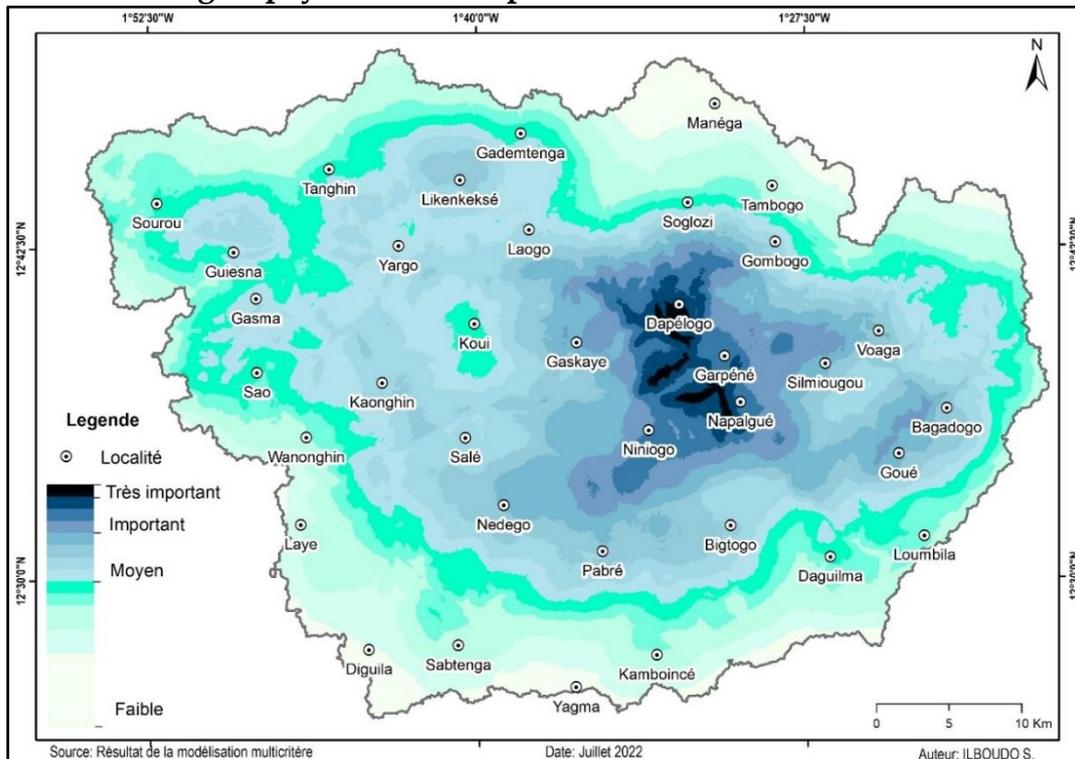
Facteurs d'adaptation	Coefficient de pondération
Cordons pierreux	25
Diguettes en pierres	07
Zaï	09
Sols favorables aux cultures	10
Bas-fonds	18
Zones de cultures	11
Bandes enherbées	07
Billons	08
Demi-lunes	05
Total	100

Source : Adapté des travaux de terrain, mars-avril 2021

De l'analyse de ce tableau, il ressort que les cordons pierreux sont le facteur ayant la pondération la plus élevée (25) et les demi-lunes, celles qui ont le poids le plus faible (05).

Les résultats de la simulation (carte 2) montrent que les zones où l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatique est très importante occupent une proportion de 0,9 % (représentant 1 871,28 ha) de la superficie du bassin versant. Elles se localisent au centre du bassin versant dans les localités tels que Napalgué, Garpéné, Dapelogo, etc. En outre, les zones où cette efficacité est importante occupent 13,88 % (soit 28 889,24 ha) de la surface du bassin versant. Elles s'identifient au centre et au centre-est. On retrouve aussi une petite portion d'espace isolée au centre-nord vers Likenkeksé. Des cinq localités d'étude, il n'y a qu'à Niniogo que l'efficacité des stratégies d'adaptation est importante. À Goué, à Silmiougou et à Bigtogo, l'efficacité est moyenne. Cependant, elle est faible à Loumbila. Cette faiblesse pourrait s'expliquer par le fait que la plupart des terres de cultures dans cette localité sont exploitées au profit des cultures irriguées en toute saison. Les stratégies d'adaptation sont également moins efficaces, voir nulles à l'extrême sud du bassin versant où on a une forte empreinte humaine liée à l'expansion urbaine de la ville de Ouagadougou.

Carte 2 : Stratégies paysannes d'adaptation dans le bassin versant du Massili

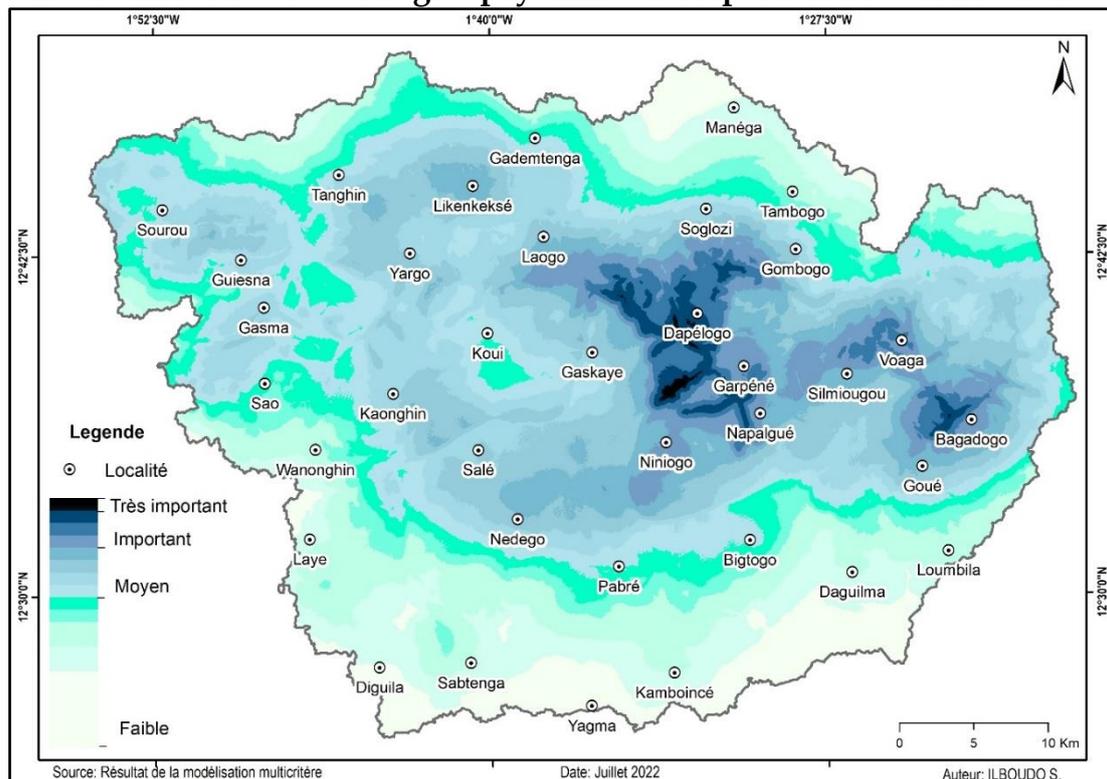


Afin d'analyser l'efficacité des stratégies paysannes, des contraintes ont été opposées aux facteurs d'adaptation pour la modélisation spatiale. Il s'agit de la pluviométrie et des sols inaptes aux cultures. Pour ce faire, les simulations ont été effectuées sur la base de trois scénarios de contraintes (10 % ; 20 % et 30 %).

En tenant compte des échanges effectués avec les paysans, le poids accordé aux précipitations est supérieur à celui des sols inaptes quel que soit le scénario retenu pour la simulation.

versant. Elles se localisent essentiellement au centre de la zone d'étude. Mais on retrouve aussi quelques petites portions d'espace isolées au centre-est près de Bagadogo. Par contre, les zones où l'efficacité des stratégies adaptatives paysannes est importante occupent 8,93 % (représentant 18 554,68 ha) du bassin versant. Elles se retrouvent au centre et au centre-est de la zone d'étude. Les stratégies moyennement et faiblement efficaces occupent les plus grandes surfaces, soit respectivement 42,93 % et 49,47 %. Dans les localités d'étude tels que Loumbila et Bigtogo, l'efficacité des stratégies adaptatives est faible. Par contre, elle est moyenne à Goué et à Silmiougou, et importante à Niniogo.

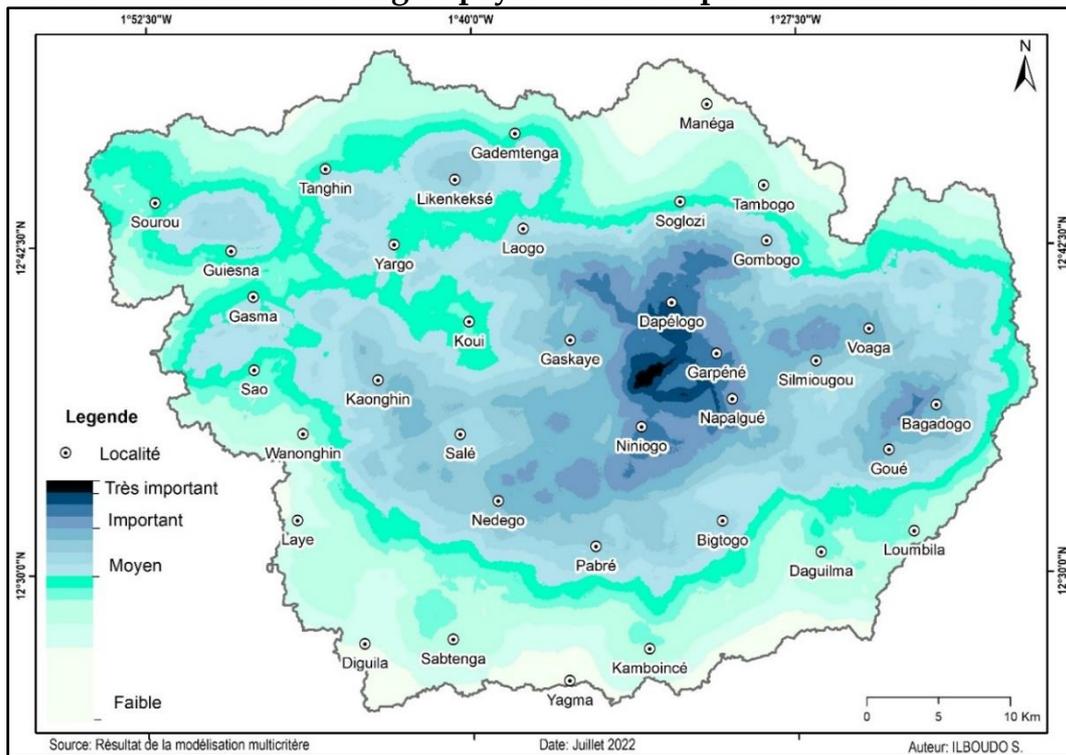
Carte 4 : Efficacité des stratégies paysannes d'adaptation au scénario de 20 %



❖ Scénario 3 : Les contraintes interviennent à 30 %

Dans ce scénario, le poids accordé aux précipitations est de 20 et celui des sols inaptes de 10 (soit un total de 30). Le total des poids des facteurs d'adaptation passe à 70. Les résultats de la simulation (carte 5) montrent que si les contraintes interviennent à 30 %, les zones où l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation est très importante occupent 0,12 % (représentant 239,25 ha) de la surface du bassin versant. Elles se localisent essentiellement au centre. Celles où l'efficacité des stratégies d'adaptation est importante représentent 7,48 % (soit 15 561,85 ha) de la surface de la zone d'étude. Ces espaces occupent de petites superficies isolées au centre et au centre-est du bassin versant. Les zones où les stratégies développées par les paysans ont une efficacité moyenne occupent 42,93 % (soit 89 318,72 ha) de la superficie du bassin versant. Des localités enquêtées, il n'y a que celle de Niniogo où l'efficacité est importante. À Silmiougou, à Goué et à Bigtogo, l'efficacité est moyenne. À Loumbila, elle est faible.

Carte 5 : Efficacité des stratégies paysannes d’adaptation au scénario de 30 %



Le tableau 3 fait la synthèse de l’efficacité des stratégies paysannes d’adaptation. L’analyse des statistiques de ce tableau montre que plus le poids des contraintes augmente, moins les stratégies d’adaptation sont efficaces.

Tableau 3 : Synthèse de l’efficacité des stratégies paysannes d’adaptation

Efficacité Degrés	Sans contraintes	Contraintes à 10 %	Contraintes à 20 %	Contraintes à 30 %
Très important+important	14,78	11,09	9,09	7,6
Moyen	48,74	43,53	47,00	42,93
Faible	36,48	45,38	43,91	49,47
Total	100	100	100	100

Source : D’après les résultats des simulations

La pluviométrie étant la contrainte principale simulée, il apparaît donc qu’elle impacte largement l’efficacité des stratégies d’adaptation face à d’autres contraintes telle que la mauvaise qualité agronomique des sols.

3. Discussion

La combinaison des systèmes d’information géographique et de l’analyse multicritère a permis d’identifier les zones où les stratégies paysannes d’adaptation à la variabilité climatique sont efficaces dans le bassin versant du Massili. Ces espaces se situent globalement au centre de la zone d’étude. Cependant, les études ont montré que l’efficacité de ces stratégies est impactée par un certain nombre de contraintes dont

les précipitations et les sols dégradés. Des résultats similaires ont été obtenus par plusieurs auteurs au Burkina Faso et en Afrique de l'Ouest.

Concernant les contraintes d'adaptation liées aux précipitations, les études du Partenariat ouest Africain de l'Eau (2010, p. 14) au Burkina Faso, du Laboratoire d'Analyse Mathématiques des Equations (2012, p. 68) dans la zone soudano-sahélienne du Burkina Faso, de B. Ouédraogo (2015, p. 12) dans le bassin versant de Yakouta dans le Sahel burkinabè aboutissent aux mêmes conclusions. Il en est de même pour les travaux de P. S. S. Houssou-Goe (2008, p. 56) dans le département de Couffo au Bénin et de C. F. Tchoupé Makougoum (2018, p. 14) au Mali. Il ressort des travaux de L. Ouédraogo (2012, p. 188) que la pluviométrie est le principal paramètre qui influence l'efficacité des stratégies paysannes dans le bassin versant de Yakouta. Pour S. Salack et *al.* (2020, p. 31), l'occurrence d'un des facteurs des extrêmes pluviométriques (les faux-départs, les fins précoces de saison agricole, les longues séquences sèches et les pluies diluviennes) au cours d'une saison culturale peut créer des conditions extrêmement contraignantes pour les producteurs dans la gestion et la planification de leurs travaux agricoles.

Les études ont aussi montré que la dégradation des sols impacte l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatique. Ces résultats sont en phase avec ceux obtenus au Burkina Faso par certains auteurs dont (B. Ibrahim, 2012, p. 5) dans le bassin du Nakanbé, A. Ouédraogo (2018, p. 19) à Oula dans la région du Nord et S. Palé (2020, p. 92) dans le bassin versant du Poni. Des résultats similaires ont été obtenus en Afrique de l'Ouest par P. Bayen et *al.* (2011, p. 2) dans la zone sahélienne, O. M. Savadogo et *al.* (2015, p. 434) dans la zone soudano-sahélienne et O. Koudamilaro (2017, p. 20) dans le bassin versant de l'Ouémé à Beterou au Bénin.

Conclusion

Le couplage des SIG et des méthodes d'analyse multicritère a permis de produire la cartographie de l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatique dans le bassin versant du Massili. Cette cartographie a permis d'identifier les zones où ces stratégies d'adaptation sont les plus efficaces. Il ressort des études qu'elles occupent de petites portions d'espaces localisées globalement au centre du bassin versant. Pour tester l'efficacité des stratégies adaptatives, trois scénarios de contraintes ont été opposés aux facteurs d'adaptation pour la simulation. La pluviométrie est la contrainte ayant le poids le plus élevé. Les résultats d'analyse ont montré que plus le poids des contraintes augmente, moins les stratégies d'adaptation sont efficaces. Il apparaît donc que les précipitations constituent un paramètre déterminant dans l'efficacité des stratégies paysannes d'adaptation à la variabilité climatique.

Références bibliographiques

- ASSI Jean-Louis Kopeh, SORO Charles Tchognenga, YAO Pauline N'zué et ASSI-KAUDJHIS Joseph Pierre, 2019, « Approche SIG du potentiel agricole pour la production de l'ananas dans le département de Grand-Bassam », *Revue Ivoirienne de Géographie des Savanes*, Numéro Spécial, pp.49-70, (En ligne), consulté le 20/06/2022, URL : <https://rigesao.net/volumes/numerospecial/fichiers/pdf>.
- BAYEN Philippe, TRAORÉ Salifou, BOGNOUNOU Fidèle, KAISER Dorkas et THIOMBIANO Adjima, 2011, « Effet du zaï amélioré sur la productivité du sorgho en zone sahélienne », *VertigO*, vol. 11, n°3, pp.1-10.
- CHABI ADIMI Olatondji Salomon, TOHOZIN Bernadin Aimé Coovi et OLOUKOI Joseph, 2018, « Modélisation spatiale et évaluation multicritère dans la détermination des sites propices à la production du maïs à Ouèssè, Bénin », *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, vol. 12, n°1, pp.253-265, (En ligne), consulté le 25/06/22, URL : <https://www.ajol.info/index/ijbcs/article>.
- DA Carolle Laure Mwingnè, 2021, *Vulnérabilité urbaine au Sahel : Ouagadougou (Burkina Faso) et Bamako (Mali) sous le poids des inondations*, Thèse de Doctorat en géographie, Université Paris-Saclay en France.
- HOUSSOU-GOE Septime Sonagnon Philippe, 2008, *Agriculture et changements climatiques au Bénin : Risques climatiques, vulnérabilité et stratégies d'adaptation des populations rurales du département du Couffo*, Thèse pour l'obtention du Diplôme d'Ingénieur Agronome de l'Université d'Abomey-Calavi au Bénin.
- IBRAHIM Boubacar, 2012, *Caractérisation des saisons de pluies au Burkina Faso dans un contexte de changement climatique et évaluation des impacts hydrologiques sur le bassin du Nakanbé*, Thèse de Doctorat ès SCIENCES, Université Pierre et Marie Curie en France.
- KABORE/BONTOGHO Tog-noma Patricia Emma, 2015, *Modeling a sahelian water resource allocation under climate change and human pressure : case of Loumbila dam in Burkina Faso*, PHD Thesis, Université d'Abomey-Calavi au Bénin, WASCAL au Burkina Faso.
- KÊDOWIDE Conchita Mèvo Guézo, 2010, « Modélisation géomatique par évaluation multicritère pour la prospection des sites d'agriculture urbaine à Ouagadougou », *VertigO*, vol. 10, n°2, pp.1-20.
- KOUDAMILORO Olivier, 2017, *Vulnérabilité aux risques hydroclimatiques et stratégies d'adaptation des populations dans le bassin versant de l'Ouemé à Beterou (Benin)*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université Ouaga I Pr Joseph KIZERBO, Burkina Faso.
- Laboratoire d'Analyses Mathématiques des Équations (LAME), 2011. *Élaboration du PANA Programmatique du Burkina Faso : études de modélisation climatique, d'évaluation des risques et d'analyse de la vulnérabilité aux changements climatiques*, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- Ministère de l'Agriculture et des Aménagements Hydro-Agricoles, 2020, *Annuaire des statistiques agricoles 2019*, Ouagadougou, Burkina Faso.

- MOHAMED EL AMRAOUI Sidi, ROUCHDI Mohamed, BOUZIANI Mourad et EL IDRISSE Abdelwahed, 2017, « Intégration du SIG et de l'analyse hiérarchique multicritère pour l'aide dans la planification urbaine : étude de cas de la province de Khemisset, Maroc », *Papeles de Geografía*, vol. 63, pp.71-90.
- OUEDRAOGO Arnaud, 2018, *Les stratégies d'adaptation des populations locales au changement climatique au nord du Burkina Faso : cas de Oula dans la province du Yatenga*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université OUAGA I Pr Joseph KI-ZERBO, Burkina Faso.
- OUEDRAOGO Blaise, 2015, *Stratégies d'adaptation des agropasteurs à la variabilité climatique dans le bassin versant de Yakouta (Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- OUEDRAOGO Lucien, 2012, *Gestion de l'eau et adaptation des populations au changement climatique dans le bassin versant de Yakouta (dans le Sahel du Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université ABDOU MOUMOUNI, Niamey, Niger.
- OUEDRAOGO Ousséni, 2013, *Identification des systèmes de productions agricoles intégrés existants et propositions de meilleures pratiques pour la commune de Loumbila*, Mémoire de Master en Innovation et Développement Rural, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- PALÉ Sié, 2020, *Morphohydrologie du bassin versant du Poni (Sud-Ouest du Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat Unique, Université Joseph KI-ZERBO.
- Partenariat ouest Africain de l'Eau, 2010, *Changements climatiques : Stratégies d'adaptation et échanges d'expériences au Burkina Faso*, GWP/AO, Ouagadougou, Burkina Faso.
- SAATY Thomas L., 1977, « A scaling method for priorities in hierarchical structures », *Journal of mathematical psychology*, n°15, pp.234-281, (En ligne), consulté le 20/06/2022, URL : <https://doi.org/10.1016/0022-2496>.
- SALACK Seyni, HIEN Koufanou, LAWSON Namou, SALEY Inoussa, PATUREL Jean-Emmanuel, WAONGO Moussa, 2020, « Prévisibilité des faux-départs de saison agricole au Sahel », In *Risques climatiques et agriculture en Afrique de l'Ouest*, IDR Editions, Marseille, France, pp. 31-43.
- SANOU Korotimi, 2015, *Aménagement hydro-agricole, impacts socioéconomiques et risques sanitaires : cas du barrage de Boura dans le bassin du Mouhoun (Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université de Ouagadougou, Burkina Faso.
- SAVADOGO Ouango Maurice, OUATTARA Korodjouma, BARRON Jennie, OUEDRAOGO Issa, GORDON Line, ENFORS Elin et ZOMBRE Nabsanna Prosper, 2015, « Etats des écosystèmes sahéliens : reverdissement, perte de la diversité et qualité des sols », *Afrique SCIENCE*, vol. 11, n°5, pp.433-446.
- TCHOUPÉ MAKOUGOU Christelle Flore, 2018, *Changement climatique au Mali : impact de la sécheresse sur l'agriculture et stratégies d'adaptation*, Thèse de Doctorat en Sciences de l'Economie, Université Clermont Auvergne, France.
- YANOOGO Pawendkigou Isidore, 2012, *Les stratégies d'adaptation des populations aux aléas climatiques autour du lac Bagré (Burkina Faso)*, Thèse de Doctorat Unique de Géographie, Université d'Abomey-Calavi, Bénin