

Impact de l'Utilisation et l'Occupation des Sols sur la Gestion de l'Eau dans un Contexte de Changement Climatique : cas de la Zone de M'Béwani (Office du Niger, Mali)

Résumé

Cette étude évalue l'impact des dynamiques d'occupation des sols sur la gestion des ressources en eau dans la zone agricole de M 'Béwani à l'Office du Niger, dans un contexte de changement climatique. À partir d'images Landsat des années 1997, 2013 et 2023, des cartes d'occupation du sol ont été produites et validées avec des coefficients Kappa estimés à plus de 92 %. Les résultats montrent une augmentation marquée des terres agricoles, en particulier les parcelles de riz (de 8,49 % à 21,52 %) et de canne à sucre (de 5,63 % à 20,71 %), principalement au détriment des zones aquatiques, passées de 2,62 % à seulement 0,59 % entre 1997 et 2023. En parallèle, une augmentation de la végétation autour des infrastructures d'irrigation a été observée.

L'intégration des données climatiques sur 32 ans (1992–2023) révèle une baisse progressive de la pluviométrie annuelle (avec une moyenne de 523.7 en 1992 contre 369.93 en 2023) et une augmentation des périodes de sécheresse (0.732 en 1992) à, confirmée par des indices SPI négatifs (-1.088 en 2023). Ces tendances accentuent la pression sur les ressources hydriques. Les résultats soulignent la nécessité de repenser les pratiques de gestion des terres et de l'eau dans la zone agricole de M'Béwani, en intégrant les dynamiques spatiales et les contraintes climatiques croissantes.

Mots-clés : Occupation des sols, irrigation, images satellitaires, végétation, M'Béwani, Mali.

27

28 **Abstract:** This study deals with the impact of land use dynamics on water
29 resource management in the agricultural area of M'Bewani. The main objective of
30 the work is to analyze land use changes over a period of 26 years (1997-2023).
31 To achieve this goal, land use maps were produced for the years 1997, 2013 and
32 2023. These were validated with a Kappa Coefficient of 92%, 97% and 96%
33 respectively for the years 1997, 2013 and 2023. Between 1997 and 2023, the
34 area of land developed for agriculture increased significantly. In 1997, sugarcane
35 plots and rice plots occupied 5.63% and 8.49% of the study area, respectively,
36 while in 2023, this proportion increased to approximately 20.71% and 21.52%.
37 This expansion was to the detriment of aquatic areas and natural spaces. At the
38 same time, the areas covered by water (2.62%) in 1997 decreased to only 0.59%
39 in 2023, due to the increase in agricultural land and the impacts of climate
40 change on the availability of water resources. Trees and shrubs, once scattered
41 throughout the study area, have experienced a notable increase around irrigation
42 infrastructure. Between 1997 and 2023, vegetation (trees and shrubs) decreased
43 from 23.20% to 22% in these areas, probably related to leaks or water losses in
44 irrigation systems. Another objective is to integrate climate data to understand the
45 evolution of precipitation and water resources over a 32-years period 1992-2023.
46 The integration of climate data over 32 years (1992–2023) reveals a progressive
47 decline in annual rainfall (with an average of 523.7 in 1992 compared to 369.93
48 in 2023) and an increase in dry periods (0.732 in 1992), confirmed by negative
49 SPI indices (-1.088 in 2023). These trends are increasing pressure on water
50 resources. These results demonstrate the urgency of rethinking land and water
51 resource management methods, by integrating new land use dynamics and the
52 impacts of climate change.

53 **Keywords** : Land Use, irrigation, satellite images, vegetation, M'Bewani, Mali.

54

1. Introduction

Les dynamiques mondiales d'occupation des sols et d'utilisation des terres ont des impacts environnementaux et socio-économiques profonds. Le changement d'affectation des sols est en partie dû à l'intensification de l'agriculture à l'échelle mondiale, qui vise à satisfaire la demande d'une population humaine croissante, mais qui entraîne une grave dégradation des sols arables (Smith, P. et al., 2016). En 2020, environ 38% des terres émergées étaient consacrées à l'agriculture, ce qui a conduit à une perte de 70% de la biodiversité terrestre due à la conversion des forêts et des prairies en terres agricoles (FAO, 2021).

La pression sur les ressources en eau est également croissante, exacerbée par les changements climatiques et la mauvaise gestion des ressources hydriques (Ciampittiello et al., 2024). La vulnérabilité des ressources en eau face aux effets des changements climatiques impacte d'autres secteurs d'activités, notamment l'agriculture, l'élevage, la pêche, le tourisme, l'habitat et le cadre de vie, l'énergie, la santé, etc. Cette vulnérabilité sera accentuée par un certain nombre de facteurs tels que la croissance démographique qui impactera les usages de l'eau, le contexte socioéconomique, l'occupation de l'espace et par la gouvernance du secteur de l'eau, (Ruddel, 2018).

Au Mali, les parts de savane et de forêts ont diminué de 23 % entre 1975 et 2013 (CILSS, 2016), ceci est principalement dû à la croissance démographique et à la demande alimentaire. Selon une étude menée par Diancoumba et al. (2023), une autre cause de la diminution des forêts dans certaines zones du Mali est principalement due à la déforestation. Le Mali, avec une population principalement rurale, dépend fortement de l'agriculture. L'Office du Niger, situé dans la région de Ségou, est le principal périmètre irrigué du pays et l'un des plus grands d'Afrique de l'Ouest. Créé dans les années 1930, il couvre une superficie de plus de 100 000 hectares et est essentiel pour la production de riz et de culture maraîchère (Office du Niger, 2014). Toutefois, la gestion de l'eau et des terres dans cette région est confrontée à des défis significatifs liés à la variabilité climatique, à l'intensification agricole et à l'augmentation de la population.

En particulier, la Zone de M'Béwani potentiellement abritée par des promoteurs privés, fait face à des préoccupations liées à l'occupation des sols, à la gestion de l'eau. M'Bewani est la plus récente des zones de production de l'Office du Niger et se distingue par plusieurs caractéristiques uniques. C'est la seule zone où la production de canne à sucre est toujours active, une culture qui nécessite une gestion intensive de l'eau (Office du Niger, 2014). L'aménagement récent de cette zone comparé aux autres zones de production de l'office au Niger offre une opportunité unique pour étudier les impacts initiaux de l'aménagement des terres et des infrastructures d'irrigation sur l'environnement et la sécurité alimentaire. Au regard de ces défis complexes, il est donc nécessaire de trouver des solutions durables aux défis multiples auxquels est confrontée ladite Zone. L'intérêt de

cette étude résulte donc dans sa capacité à fournir une analyse approfondie de la dynamique d'occupation des sols dans la zone de M'Bewani permettant ainsi une meilleure compréhension des facteurs sous-jacents et leurs implications sur la gestion de l'eau ainsi que la préservation des écosystèmes.

En raison des contraintes environnementales, climatiques et socio-économiques, il est nécessaire de savoir comment l'augmentation des surfaces cultivées impactent sur la gestion de l'eau dans la zone de M'Bewani ? Et comment contribuer la résilience des communautés locales face aux défis du changement de la dynamique d'occupation des sols et la raréfaction de l'eau ? Ces questions guident cette étude vers la recherche de solutions intégrées permettant la mise en œuvre des différentes activités.

2. Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de contribuer à l'évaluation de l'impact des pratiques d'occupation des sols sur la gestion de l'eau dans la zone de M'Bewani. Les objectifs spécifiques sont :

- ✓ Identifier les types d'usage des sols de la zone d'étude ;
- ✓ Analyser les tendances temporelles de l'occupation des sols ;
- ✓ Proposer des stratégies intégrées de gestion de l'eau adaptées au changement climatique observé.

3. Matériels et Méthodes

a. Matériels

i. Zone d'étude

M'Bewani couvre une superficie brute de 22 300 ha et sa principale caractéristique est l'absence de dénivellation importante. Les trois principales activités économiques faites dans la zone de M'Bewani sont l'agriculture, l'élevage et la pêche. Avec une population estimée à 96811 habitants en 2021 selon l'Institut National de la Statistique du Mali (INSTAT, 2024). Sur 31 ans (1992-2023), on remarque que la pluviométrie moyenne annuelle varie de 310 à 700 mm. Les mois les plus pluvieux sont juillet, août et septembre. Le nombre de jours pluvieux est de 45 jours au maximum. Le relief est bas avec la non présence de montagne, colline et facilitant ainsi l'irrigation de la zone. Les différents types de sols dans la zone de M'Bewani sont : les sols limoneux-argileux ; les sols argilo-limoneux ; les sols sablo-argileux.

La zone de M'Bewani est située dans la commune rurale de Pogo, cercle de Niono, dans la région de Ségou. C'est la zone nouvellement aménagée de l'Office

du Niger (ON).

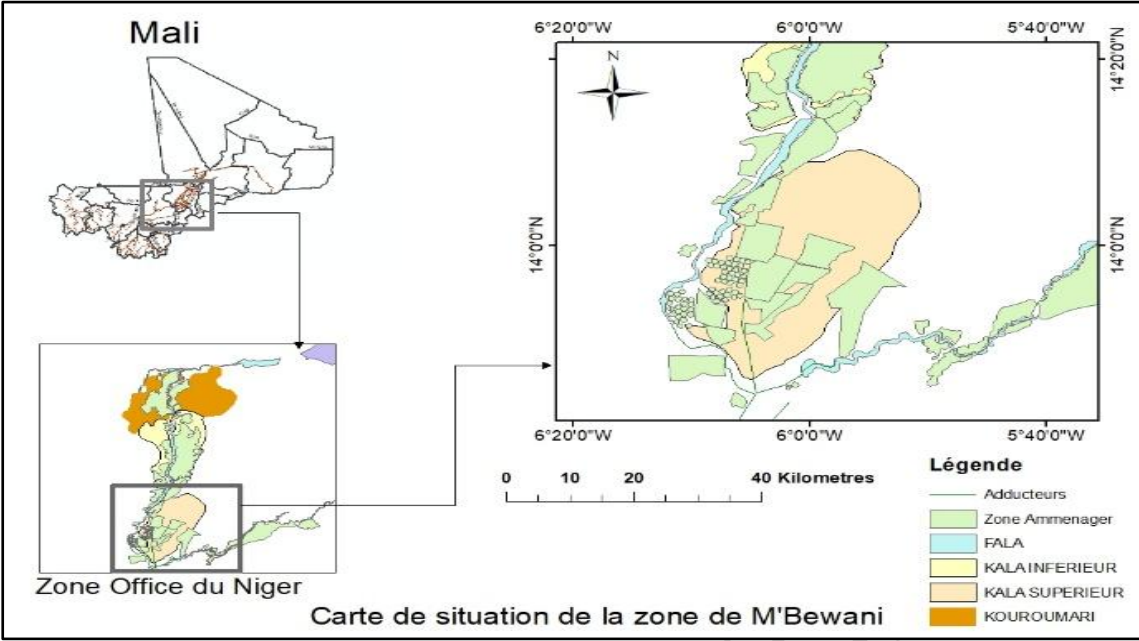


Figure 1 : carte de présentation de la zone de M'Bewani

ii. Données utilisées:

Images satellitaires : Des images LANDSAT (TM/ETM+ pour 1997 et OLI pour 2013 et 2023) ont été téléchargées sur le site <https://earthexplorer.usgs.gov>. Ces images, acquises entre février et mai pour minimiser la couverture nuageuse, ont permis une analyse diachronique de l'occupation des sols. Les caractéristiques de ces images sont récapitulées dans le tableau 1.

Tableau 1: Scènes et dates d'acquisition des images LANDSAT

Types d'images	Capteurs	Dates d'acquisitions
Image Landsat 4-5	Image Landsat 4-5	06/02/1997
Image Landsat 8	Capteur Oli	25/05/2013
Image Landsat 8	Capteur Oli	05/05/2023

- **Données cartographiques :** Les limites des casiers et le réseau d'irrigation ont été obtenus auprès de l'Office du Niger en format shapefile.
- **Données climatiques :** Les précipitations et températures mensuelles (1992-2023) ont été téléchargées depuis la plateforme WaPOR de la FAO.
- **Données d'enquêtes**
- **Logiciels/outils utilisés**

- ✓ ENVI 5.3 (ENvironment for Visualizing Images) : Le logiciel ENVI a été utilisé pour les traitements des images satellitaires ;
- ✓ Google EATH pro : Google Earth Pro pour la visualisation, l'évaluation, la superposition et la création de données géospatiales. (Source : <https://uottawa.libguides.com/>). Dans le cadre de notre étude, ce logiciel a été utilisé pour confirmer les classifications en y identifiant 5 points de vérification pour chaque classe et en les projetant sur les cartes pour validation.
- ✓ ArcGis 10.8 pour la réalisation des cartes d'occupation des sols
- ✓ Deux questionnaires, constituées de questions ouvertes et fermées, ont été élaborés, un adressé aux gestionnaires et l'autre aux paysans. Ces questions étaient relatives à l'évaluation de l'efficacité des comités de gestion de l'eau mis en place dans la zone.
- ✓ Excel pour l'analyse statistique des données
- ✓ Word pour la rédaction du document

b. Méthodes

Une combinaison de méthodes a été utilisée notamment des analyses spatiales et climatiques en plus des enquêtes sur le terrain pour évaluer l'impact des sols sur la gestion de l'eau dans la zone de M'Bewani.

i. Traitement des images satellitaire :

La méthode de classification supervisée, utilisant l'algorithme du maximum Vraisemblance du logiciel Envi 5.3 couplée au logiciel ArcGIS 10.8, a été appliquée aux images Landsat téléchargées. Ces images LANDSAT (TM/ETM+ pour 1997 et OLI pour 2013 et 2023) ont été téléchargées sur le site earthexplorer.usgs.gov. Elles sont, acquises entre février et mai pour minimiser le taux de couverture nuageuse, pour une meilleure analyse diachronique de l'occupation des sols. Les différentes classes identifiées sont validées par les matrices de confusion produites à cet effet. Ces classes sont : Arbres et Arbustes (AA), Eau, Parcelles de canne à sucres (PCS), Parcelles de riz (PR), Zone bâties (ZB), Sol nu (SN). Des coordonnées géographiques de quelques points de chaque classe ont été identifiées et sur Google Earth pro et superposées sur les images classées afin, de servir de sites d'entraînement. Le coefficient de Kappa et la matrice de confusion ont permis de valider la classification. Lorsque l'indice de Kappa est supérieur à 75 %, la classification adoptée est valable et les résultats peuvent être judicieusement utilisés pour l'élaboration des cartes d'occupation du sol (*Pontius et Millones, 2011*). La numérisation est la dernière étape du traitement des images satellitaires. Ainsi, les cartes d'occupation des sols ont été élaborées pour les années 1997, 2013 et 2023.

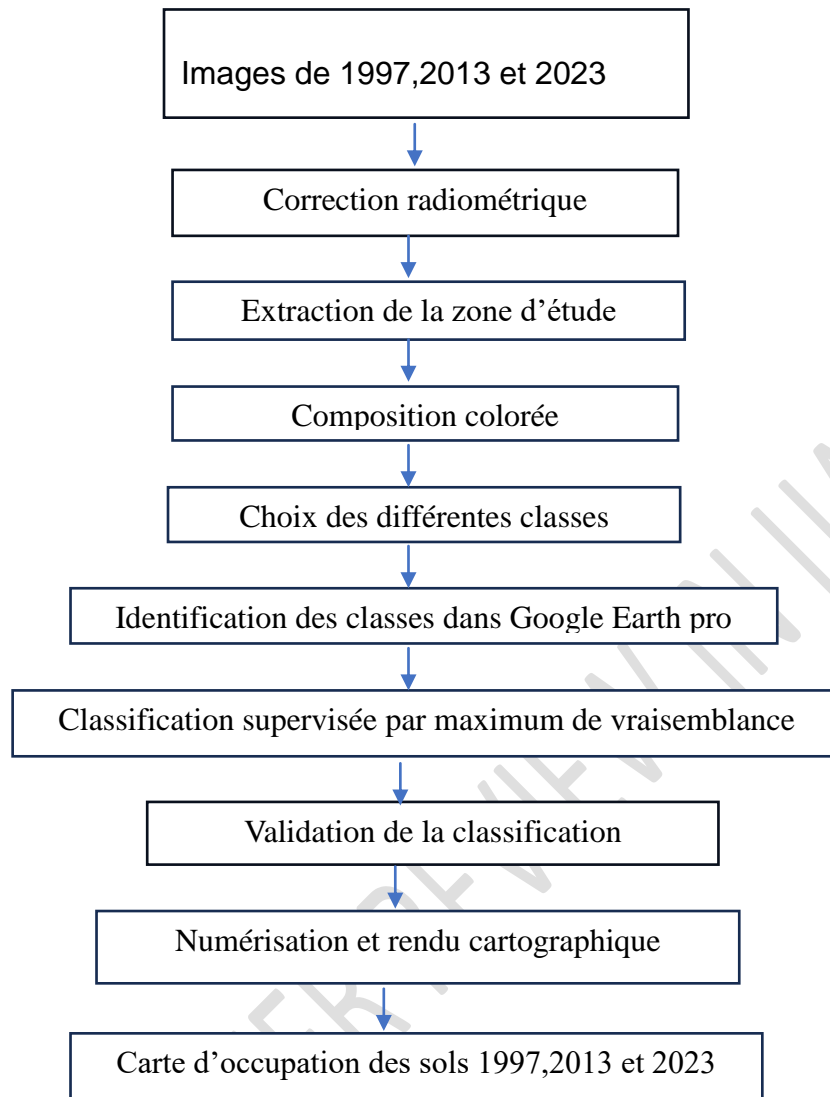


Figure 2: étapes d'élaboration des cartes d'occupation des sols

ii. Analyse climatique des données climatique

Les données climatiques utilisées sont : la précipitation moyenne mensuelle et la température maximales et minimales mensuelle sur la période 1992-2023(32ans). Pour chacune des données, les traitements suivants ont été réalisés :

- ✓ Calcul de l'indice Standardisé des Précipitations ou Standardized Precipitation Index (SPI) de McKee et al. (1993) répond à la formule suivante :

$$SPI = (P_i - P_m) / S_i$$

Où P_i , P_m et S_i représentent respectivement le cumul de la pluie pour une année i , la moyenne et l'écart-type des pluies annuelles observées pour la série de données considérée.

✓ Calcul de l'évapotranspiration potentielle (ETP) : l'ETP a été calculée par la méthode de Thornthwaite (Bonnet, 1970). Selon cette méthode, l'ETP pour un mois donné est basé sur la température mensuelle de l'air de ce mois et sur la température annuelle de l'air. Elle est énoncée comme suit :

$ETP = 16(10t/I)^a$. Cette formule est appliquée lorsque la température moyenne mensuelle est inférieure à 26.5°

Lorsque la température est comprise entre 26.5°C et 38°C,

$$Etp = (16 * (10t/I)^a) * kc$$

Avec t : température mensuelle

I : indice thermique de chaleur annuelle qui est égale à la somme des indices mensuels calculés à partir des températures moyennes mensuelles selon la formule $i = (t/5)^{1.514}$

$$a: ((6.75 * 10^{-7}) * I^3) - ((7.71 * 10^{-5}) * I^2) + ((1.79 * 10^{-2}) * I) + 0.49$$

kc : coefficient de correction mensuel avec $kc = t/T$ (T : la température moyenne annuelle).

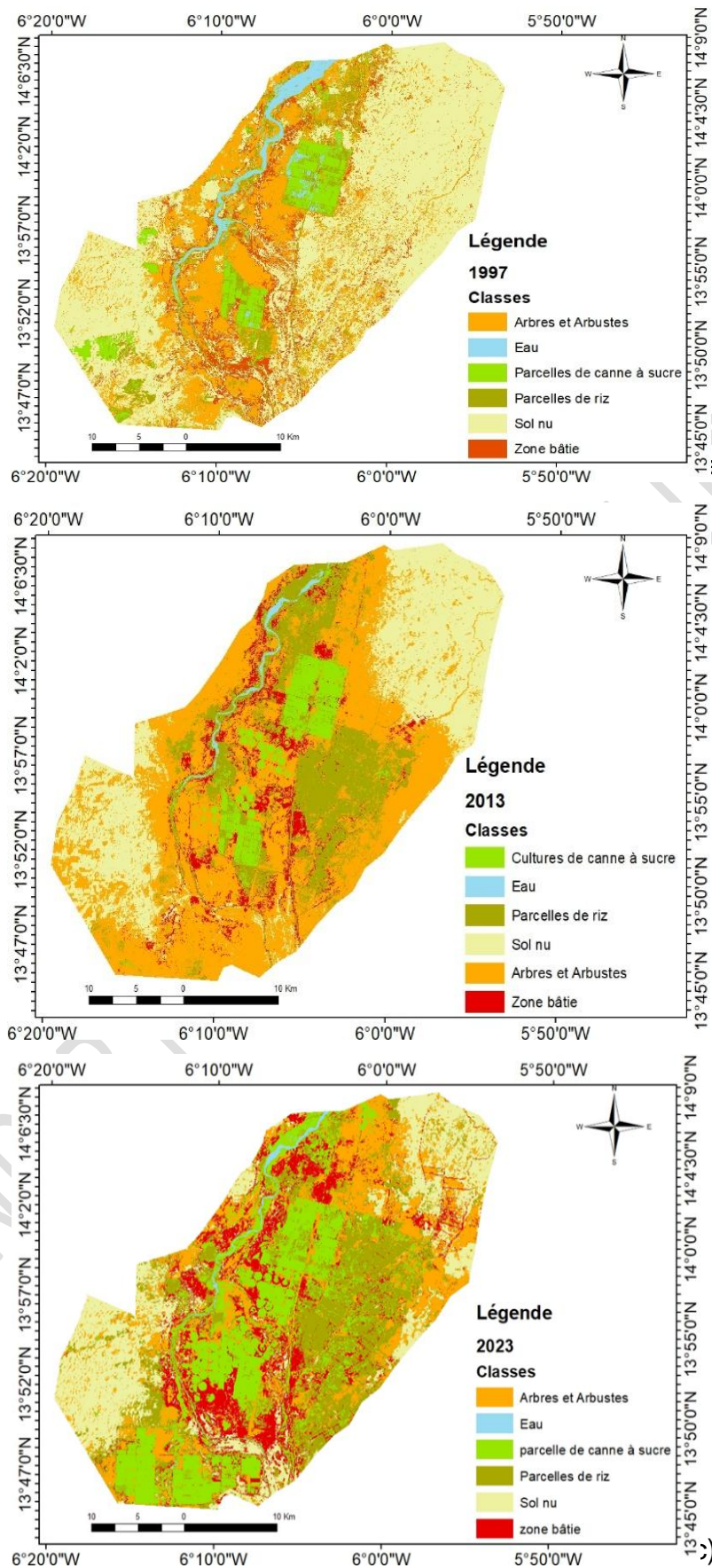
iii. Traitement des données d'enquêtes :

Les enquêtes ont permis d'évaluer l'efficacité des comités de gestion de l'eau et des terres, ainsi que les défis rencontrés dans la gestion des ressources hydriques. Les réponses ont été analysées pour identifier les points forts et les faiblesses des structures de gouvernance.

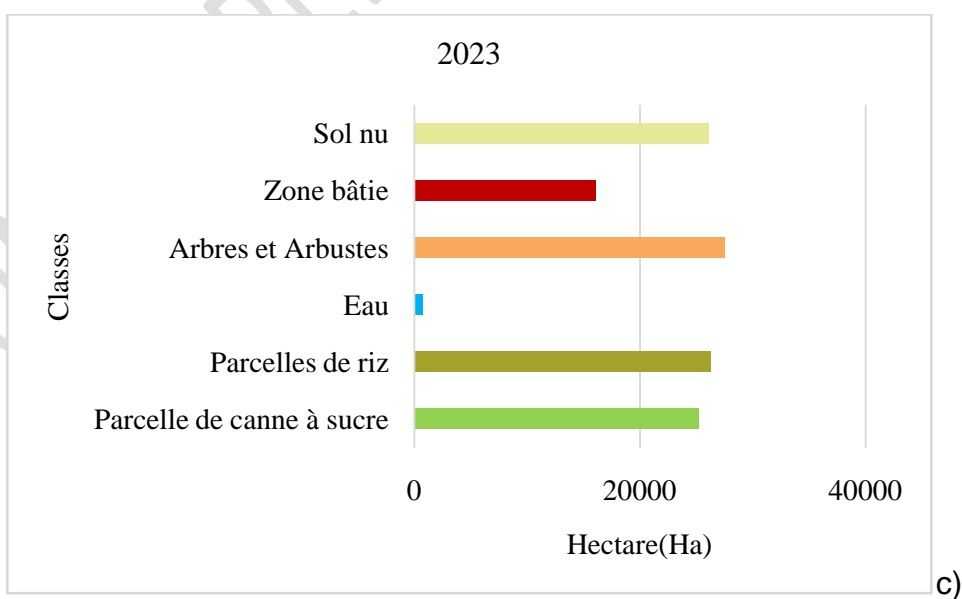
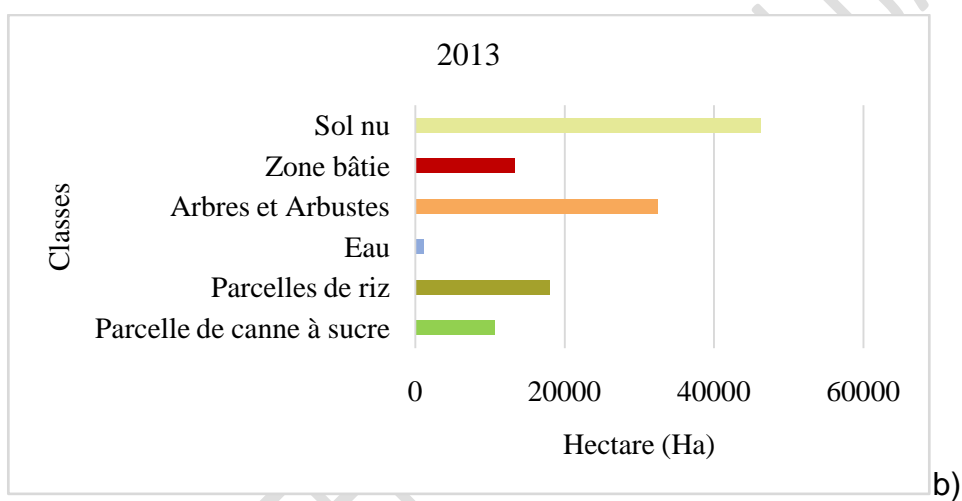
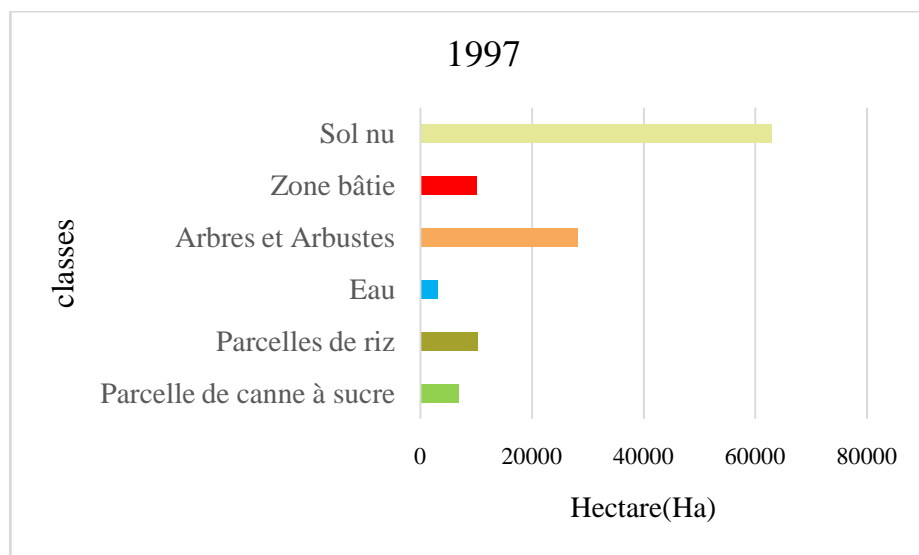
4. Résultats

4.1. Cartes d'occupation des sols

L'analyse diachronique des cartes d'occupation des sols dans la zone de M'Béwani, élaborées pour les années 1997, 2013 et 2023, révèle des transformations profondes et progressives dans l'utilisation des terres, fortement influencées par le développement agricole, les infrastructures d'irrigation et les effets du changement climatique. Ces cartes ont été validées pour les années 1997, 2013 et 2023 avec un coefficient kappa estimés respectivement p à 92 %, à 97 % et à 96%.



251 Figure 3: cartes d'occupation des sols des années a) 1997, b) 2013 et c) 2023



252 Figure 4: Répartition en hectares des unités d'occupation du sol a) 1997,b) 2013
 253 et c) 2023

254

255 A travers ces résultats, les principales observations sont les suivantes :

256 Entre 1997 et 2023, la zone d'étude a connu une transformation marquée de
 257 l'occupation du sol. Le sol nu est passé d'environ 67 000 ha à 30 000 ha, soit
 258 une réduction de plus de la moitié, traduisant une intensification des activités
 259 humaines et agricoles. Les parcelles de riz et les parcelles de canne à sucre ont
 260 fortement augmenté, passant respectivement d'environ 7 000 ha à 20 000 ha et
 261 de 9 000 ha à 25 000 ha, illustrant une extension significative des
 262 aménagements hydro-agricoles. Les zones bâties ont également progressé, de
 263 près de 4 000 ha en 1997 à environ 10 000 ha en 2023, témoignant de la
 264 croissance démographique et urbaine. En revanche, les plans d'eau sont restés
 265 relativement stables (autour de 1 000 ha), tandis que les formations arborées et
 266 arbustives ont légèrement diminué (de 25 000 ha à environ 23 000 ha),
 267 conséquence probable de la pression agricole et du développement des
 268 infrastructures.

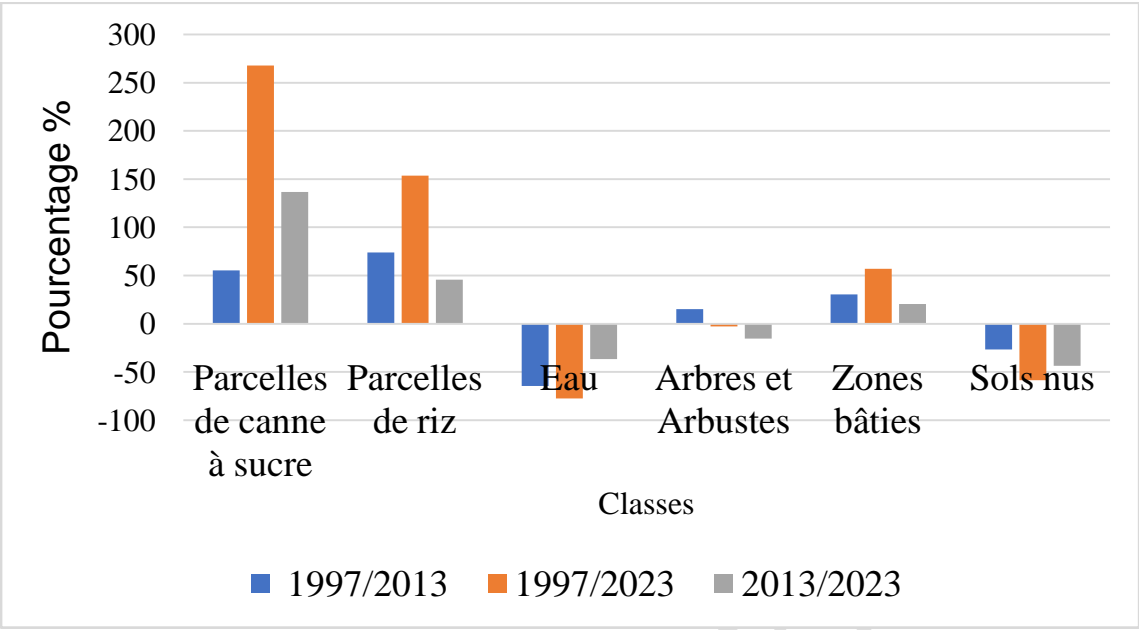
269 4.2. Détection de changement

270 On note une progression des zones bâties (+57.03%) selon le tableau 2 et la
 271 figure 6, témoignant de la pression démographique locale et du développement
 272 des infrastructures agricoles. Les zones de sol nu (SN) ont également régressé
 273 de plus de 50%, ce qui peut être interprété comme un indicateur de forte
 274 augmentation des surfaces emblavées pour l'agriculture (267.86% pour les PCS
 275 et 153.51% pour PR). En revanche, la surface en eau a chuté de 77,38 %,
 276 indiquant une diminution notable des plans d'eau. Les zones bâties (ZB) ont
 277 augmenté de 57,03 %, témoignant d'une croissance urbaine marquée, tandis
 278 que le sol nu (SN) a fortement diminué de 58,53 %, reflétant la mise en valeur
 279 progressive des terres.

280 Tableau 2: Détection de changement en pourcentage

Classes	Année			Période		
	1997	2013	2023	1997-2013	2013-2023	1997-2023
PCS (%)	5.6	8.748	20.71	55.4	136.76	267.86
PR(%)	8.4	14.78	21.52	74.08	45.63	153.51
Eau (%)	2.62	0.93	0.59	-64.42	-36.43	-77.38
AA (%)	23.20	26.68	22.55	15.03	-15.48	-2.78
ZB (%)	8.40	10.96	13.19	30.44	20.39	57.03
SN (%)	51.67	37.90	21.43	-26.64	-43.46	-58.53

281

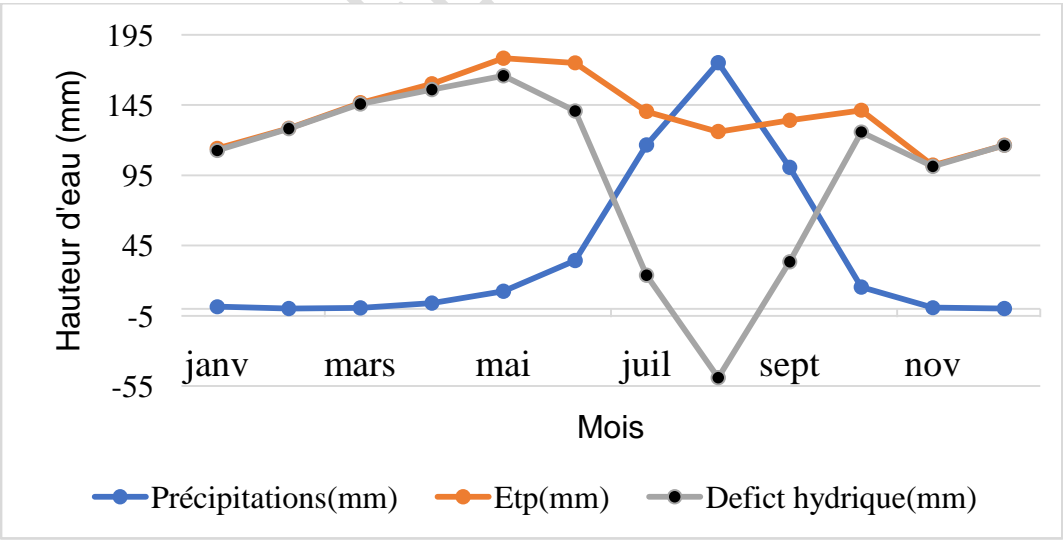


282

283 Figure 5: Représentation en pourcentage du changement 1997-20213-2023

284 **4.3. Pluviométrie**

285 Entre 1997 et 2023, la surface des zones aquatiques a diminué de façon
286 significative (jusqu'à -77 % selon le change détection en pourcentage). Cette
287 diminution est particulièrement visible en contre-saison (février-mai), période
288 caractérisée par un déficit hydrique élevé et une évapotranspiration potentielle
289 accrue, aggravée par la faible pluviométrie (figure 5).



290

291 Figure 6: Représentation du déficit hydrique mensuel sur la période de l'étude
292 1992-2023

293 L'analyse de l'indice standardisé de précipitations (SPI) sur la période 1992–
294 2023 révèle une variabilité interannuelle importante des précipitations dans la

zone de M'Bewani. Certaines années ont été marquées par des épisodes de sécheresse modérée à sévère, notamment en 2002, 2011 et 2021, où le SPI est descendu en dessous de -1 (respectivement -1,05 ; -1,21 ; et -1,08), traduisant un déficit pluviométrique significatif. À l'inverse, des épisodes humides ont été enregistrés en 1999 et 2007 avec un SPI supérieur à +1 (respectivement +1,12 et +1,35), indiquant des années exceptionnellement pluvieuses (figure 7). Cependant, la tendance générale reste dominée par des valeurs négatives ou proches de zéro, confirmant une tendance à l'assèchement et une irrégularité croissante des saisons des pluies. Ces conditions climatiques accentuent les défis de gestion de l'eau et rendent l'agriculture pluviale de plus en plus risquée, justifiant le recours accru à l'irrigation.

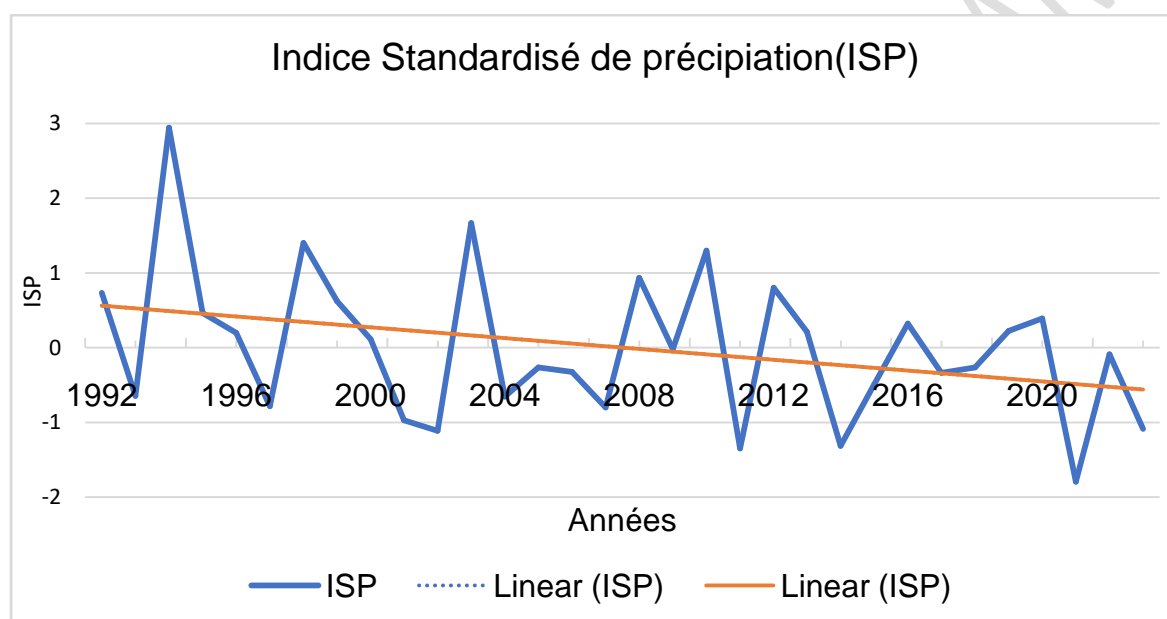


Figure 2: Représentation de la tendance de l'ISP entre 1992-2023

En parallèle, les résultats de l'enquête révèlent que plus de 70 % des répondants jugent les comités de gestion de l'eau "efficaces" ou "très efficaces", notamment dans le suivi et la planification de l'entretien du réseau hydraulique. Cependant, plusieurs défis persistants sont soulignés, notamment l'insécurité, le manque de communication, les retards de paiement de la redevance d'eau, et les difficultés d'implication des exploitants. Les comités jouent aussi un rôle important dans la médiation des conflits entre les producteurs et l'Office du Niger, mais leur efficacité reste freinée par le manque de moyens et les contraintes institutionnelles. Ces résultats soulignent l'importance de renforcer la gouvernance locale et d'adopter des stratégies intégrées d'adaptation à la variabilité climatique.

5. Discussions

Cette étude met en lumière les dynamiques d'occupation des sols et leur impact sur la gestion de l'eau dans la zone de M'Bewani. Elle rapporte également

l'augmentation des surfaces irriguées et bâties, en lien avec l'expansion des périmètres rizicoles et l'urbanisation. La croissance des terres agricoles dans la zone de M'Bewani, qui dépend directement de l'eau fournie par le barrage de Markala, augmente la pression sur les ressources hydriques locales. Ce constat est corroboré par l'étude de (Keita et al., 2002), qui souligne le rôle essentiel du barrage dans la gestion de l'eau pour les zones agricoles de la région de Ségou. Roudier et al. (2011), montrent également que dans plusieurs régions de l'Afrique de l'Ouest, l'expansion agricole accroît la demande en eau et met en évidence le rôle crucial des infrastructures de régulation comme les barrages. Entre 1997 et 2023, les terres agricoles irriguées ont considérablement augmenté (267,86 % pour les parcelles de canne à sucre et 153,51 % pour les parcelles de riz), au détriment des surfaces aquatiques (-77,38 %) et des sols nus (-58,53 %). Ces résultats sont corroborés par des études similaires, notamment celle de Faye et al. (2018) sur le lac de Guiers année? et celle de l'IRD (2010) sur le Delta intérieur du Niger, qui montrent une augmentation des terres irriguées et une diminution des plans d'eau. La baisse des précipitations annuelles, confirmée par l'indice standardisé de précipitation (ISP), accentue la pression sur les ressources hydriques locales. Les données climatiques révèlent une diminution des précipitations moyennes annuelles, passant de 523 mm en 1992 à 365 mm en 2023, avec des périodes de sécheresse prolongées. Selon Daou et al. (2019), au Mali, l'analyse de la dynamique de l'occupation des sols dans la zone de Nyamina montre une baisse des surfaces en eau (-0,04% chaque an) et l'un des facteurs identifier à cette baisse est la variabilité et le changement climatique. Cette baisse est aussi observée dans les eaux souterraines conformément à l'étude de Diancoumba et al. (2021), portant sur l'évaluation des impacts de l'Occupation et l'Utilisation des Sols sur les eaux souterraines du bassin de Koda, au Mali. Au Bénin, la variabilité des précipitations entre 1987 et 2016 a perturbé l'écoulement de l'eau. La baisse continue des précipitations réduit la disponibilité en eau, rendant la ressource incertaine selon (Yabi, 2018). Ces tendances sont cohérentes aussi avec les travaux de Hassane et al. (2017) et Haylock et al. (2005), qui rapportent une baisse significative des précipitations au Sahel. (Kupper et al., 2002) et (Lino et al., 2022) mettent en avant le rôle crucial des barrages dans la gestion de l'eau, mais soulignent que la variabilité climatique rend la ressource de plus en plus incertaine, nécessitant des approches de gestion adaptatives. Les enquêtes montrent que les comités de gestion de l'eau jouent un rôle important dans la régulation de l'accès à l'eau, mais leur efficacité est limitée par des défis tels que l'insécurité, le manque de communication et la variabilité des ressources en eau. Ces observations sont en phase avec celles de Ben Daoud et al. (2019) et AMCOW (2018), qui soulignent l'importance des stratégies intégrées de gestion de l'eau dans un contexte de changement climatique.

6. Conclusion

Cette étude menée dans la zone de M'Béwani a permis de mettre en lumière les interactions complexes entre l'occupation des sols, la gestion de l'eau et les effets du changement climatique. L'analyse des cartes d'occupation du sol sur une période de 26 ans (1997–2023) révèle une expansion importante des terres agricoles irriguées, notamment les parcelles de riz et de canne à sucre, au détriment des zones occupées par l'eau, qui ont connu une diminution de plus de 77 %. Cette évolution s'explique en partie par l'intensification des activités agricoles soutenues par les infrastructures d'irrigation de l'Office du Niger, mais aussi par les conditions climatiques défavorables.

Les données climatiques confirment une tendance à la baisse de la pluviométrie et une augmentation des déficits hydriques, avec des valeurs de SPI inférieures à -1 observées à plusieurs reprises, traduisant des épisodes de sécheresse récurrents. Dans ce contexte, les résultats de l'enquête soulignent que les comités de gestion de l'eau sont globalement perçus comme efficaces, bien que confrontés à des difficultés structurelles, telles que le manque de communication, les retards de paiement et l'insuffisance de moyens. Ces constats appellent à la mise en œuvre de stratégies d'adaptation intégrées, combinant amélioration de la gouvernance locale, renforcement de la résilience climatique et gestion durable des ressources en eau. Ainsi, ce travail contribue à documenter les dynamiques locales et à orienter les décisions en matière de gestion territoriale et de planification hydrique dans un contexte sahélien vulnérable.

Enfin, nous proposons ces solutions afin de garantir une gestion durable et intégrée de l'eau et de renforcer la résilience des communautés agricoles face aux changements climatiques et à la raréfaction des ressources en eau :

- Cultures résistantes à la sécheresse : Mil, sorgho, riz à cycle court pour réduire la consommation d'eau.
- Diversification agricole : Promouvoir des cultures comme le sésame et le fonio pour une meilleure sécurité alimentaire et économique.
- Gestion collective et participative de l'eau : Renforcer les comités de gestion pour une distribution équitable et former les exploitants à une gestion durable.
- Pratiques de conservation des sols : Agroforesterie et culture en bandes pour maintenir l'humidité du sol.
- Réhabilitation des infrastructures : Moderniser les canaux d'irrigation pour réduire les pertes d'eau.
- Systèmes de suivi et prévision climatiques : Utilisation des TIC(Technologies de l'Information et de la Communication) pour surveiller les niveaux d'eau et anticiper les besoins en irrigation.

403 Remerciements

404 Les auteurs remercient les responsables de l'Office du Niger pour leur
405 collaboration, les appuis techniques et les facilités accordées durant la collecte
406 des données sur le terrain qui ont été déterminants pour la conduite de ce travail.
407 L'Office du Niger, étant un des acteurs stratégiques du développement agricole
408 au Mali, a une fois de plus démontré son engagement à soutenir la recherche et
409 à accompagner les initiatives contribuant à une meilleure gestion des ressources
410 naturelles.

411 Les auteurs remercient également le Professeur Mamadou NIENTAO, de
412 l'Université Kurukanfunga de Bamako, pour sa contribution à la collecte des
413 données.

414 Références bibliographiques :

415 - AMCOW, 2018, Rapport 2018 sur l'état d'avancement de la mise en œuvre de
416 la gestion intégrée des ressources en eau en Afrique – Rapport régional
417 concernant l'indicateur 6.5.1 des ODD relatif à la mise en œuvre de la GIRE.
418 92 Pages.

419 -Ben-daoud, M., Mouhaddach, O., Moumen, A., &Khazaz, L. (2019). Gestion
420 intégrée de l'eau par bassin : du concept à l' action Gestion intégrée de l'eau par
421 bassin : du concept à l'action . April, 3.

422 -Bonnet, M., Delarozière-Bouillin, O., Jusserand, C., & Roux, P. (1970). Calcul
423 Automatique des "Bilans D'Eau" Mensuels Et Annuels Par Les Méthodes De
424 Thornthwaite Et De Turc. 21 pages.

425 -Ciampittiello, M., Marchetto, A., &Boggero, A. (2024). Water Resources
426 Management underClimate Change: A Review. Sustainability (Switzerland),
427 16(9). <https://doi.org/10.3390/su16093590>

428 -CILSS. (2016). Paysages d'Afrique de l'Ouest – Une fenêtre sur un monde en
429 mutation. US. Geological Survey EROS, 47914 252nd St, Garretson, SD 57030,
430 ÉTATS-UNIS.

431 -Daou, I., Coulibaly, A., Sidibé, A., Sangare, H., Keita, I., Bolozogola, Y.,...
432 Mariko, A. (2019). Suivi de la dynamique environnementale de 1985 à 2018 en
433 zone soudano-sahélienne par Télédétection : Cas de la commune rurale de
434 Nyamina.14 Rév. Ivoire. Sci. Techno., 34(janvier 2020), 13 pages.

435 -FAO. 2021. *L'État des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et*
436 *l'agriculture dans le monde - Des systèmes au bord de la rupture. Rapport de*
437 *synthèse 2021*. Rome.<https://doi.org/10.4060/cb7654fr>

438 -Hassane, R., Gastineau, B., Guichard, F., Sultan, B., & Vishel, T. (2017). Analyse
 439 environnement et changement climatique en milieu rural au Niger.
 440 <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01772530>

441 -Faye, V. M., Mbow, C., & Thiam, A. (2018). Évolution de l'occupation et de
 442 l'utilisation du sol entre 1973 et 2010 dans la zone agropastorale du lac de
 443 Guiers (Sénégal). *Vertigo*. <https://journals.openedition.org/vertigo/17206>

444 -Haylock, M., et al. (2005). Tendances des précipitations au Mali et au Niger
 445 (1941-1990). *OpenEdition*. <https://journals.openedition.org>.

446 -Institut de Recherche pour le Développement (IRD). (2010). *Gestion intégrée*
 447 *des ressources naturelles en zones inondables tropicales : Impacts*
 448 *environnementaux de la mise en valeur d'une zone inondable par irrigation*. IRD
 449 Éditions. <https://books.openedition.org/irdeditions/23589>

450 -Institut National De La Statistique(INSAT). (2021).Données historiques de statistique
 451 des populations du Mali

452 -Keita, N., Bélières, J.-F., & Sidibé, S. (2002). Extension de la zone aménagée de
 453 l'Office du Niger. In D. Orange, R. Arfi, M. Kuper, P. Morand, & Y. Poncet
 454 (éds.), *Gestion intégrée des ressources naturelles en zones inondables*
 455 *tropicales* (1-). IRD Éditions. <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.8663>

456 -Lino, M., Bonviller, A. De, & Deroo, L. (2022). *Quels barrages pour l ' Afrique*
 457 *sahélienne ? What dams for Sahelian Africa ?*04002, 1–17.

458 -Kuper, M., Hassane, A., Orange, D., Chohin-Kuper, A., & Sow, M. (2002).
 459 Régulation, utilisation et partage des eaux du fleuve Niger. In D. Orange, R. Arfi,
 460 M. Kuper, P. Morand, & Y. Poncet (éds.), *Gestion intégrée des ressources*
 461 *naturelles en zones inondables tropicales* (1-). IRD Éditions.
 462 <https://doi.org/10.4000/books.irdeditions.8575>

463 -McKee, T.B., N.J. Doeskenet J. Kleist, (1993): The relationship of
 464 droughtfrequency and duration to time scale. In: Proceedings of the
 465 EighthConference on AppliedClimatology.

466 -Office du Niger, (2014), Manuelle de gestion du réseau hydraulique de l'Office
 467 du Niger

468 -Organisation des Nations Unies pour L'alimentation et l'agriculture FAO, R. de
 469 synthèse. (2021). 2021. L'Etat des ressources en terres et en eau pour
 470 l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Des systèmes au bord de la rupture.
 471 [https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_des_metaux_dans_les_boues_de](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_des_metaux_dans_les_boues_de_stations_d_epuration_consequences_origines_et_prevention_2010.pdf)
 472 [stations d epuration consequences origines et prevention 2010.pdf](https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_des_metaux_dans_les_boues_de_stations_d_epuration_consequences_origines_et_prevention_2010.pdf)

- Oumou Diancoumba, Adama Touré, Ibrahima Daou, Seriba Konaré, and HamadounBokar (2023), Accurateevaluation of Land Use Land Cover (LULC) Dynamics in the Southern part of Mali, West Africa, International Journal of Innovation and Scientific Research ISSN 2351-8014 Vol. 65 No. 1 Feb. 2023, pp. 109-117, 2023. Innovative Space of Scientific ResearchJournals <http://www.ijisr.issr-journals.org>.
- Pontius et Millones. (2011). Death to Kappa: Birth of QuantityDisagreement and Allocation Disagreement for Accuracy.produced on 12/20/10. Accepted by International Journal of RemoteSensing.
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A. (2011). L'impact du changement climatique futur sur les rendements des cultures en Afrique de l'Ouest : Que dit la littérature récente ? *Changement environnemental global*, 21(3), 1073-1083. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007>
- Ruddel, D.-T. (2018). intégration des changements climatiques dans la gestion intégrée de l'eau. *Québec 1765-1832*, 4. <https://doi.org/10.2307/j.ctv16p04.5>
- Smith P, House JI, Bustamante M, Sobocká J, Harper R, Pan G, West PC, Clark JM, Adhya T, Rumpel C, Paustian K, Kuikman P, Cotrufo MF, Elliott JA, McDowell R, Griffiths RI, Asakawa S, Bondeau A, Jain AK, Meersmans J, Pugh TA. Global change pressures on soilsfrom land use and management. *Glob Chang Biol*. 2016 Mar;22(3):1008-28. doi: 10.1111/gcb.13068. Epub 2015 Dec 26. PMID: 26301476.Hassane, R., Gastineau, B., Guichard, F., Sultan, B., & Vishel, T. (2017). *Analyse environnement et changement climatique en milieu rural au Niger*. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01772530>
- Lino, M., Bonviller, A. De, & Deroo, L. (2022). *Quels barrages pour l ' Afrique sahélienne ? What dams for Sahelian Africa ?*04002, 1–17.
- Organisation des Nations Unies pour L'alimentation et l'agriculture FAO, R. de synthèse. (2021). 2021. *L'Etat des ressources en terres et en eau pour l'alimentation et l'agriculture dans le monde. Des systèmes au bord de la rupture*. https://www.pseau.org/outils/ouvrages/engref_des_metaux_dans_les_boues_de_stations_d_epuration_consequences_origines_et_prevention_2010.pdf
- Ruddel, D.-T. (2018). intégration des changements climatiques dans la gestion intégrée de l'eau. *Québec 1765-1832*, 4. <https://doi.org/10.2307/j.ctv16p04.5>
- Yabi, J. A. (2018). *vallée de l ' Ouémé , au sud Bénin (Afrique de l ' Ouest) [Availability of water resources and climatic var ... Disponibilité de la ressource en eau et variabilité climatique dans la basse vallée de l ' Ouémé , au sud Bénin (Afrique de l ' Ouest) [A. March 2021, 13.*