

# SCIENCES AND TECHNOLOGIES for Sustainable Agriculture

Revue scientifique à comité de lecture éditée par l'Université Nationale d'Agriculture du Bénin. Journal ayant pour vocation d'inciter et d'accompagner le développement d'une agriculture durable en Afrique et ailleurs.



- ◆ Plant productions
- ◆ Animal productions
- ◆ Forestry
- ◆ Horticulture
- ◆ Veterinary Medicine
- ◆ Fisheries science
- ◆ Biotechnology
- ◆ Rural economy
- ◆ Agro industry
- ◆ Agro-climatology
- ◆ Human nutrition
- ◆ Agricultural extension
- ◆ Conservation of bio-resources
- ◆ Food science and technology
- ◆ Rural sociology and anthropology
- ◆ Rural Engineering
- ◆ Environmental management and climate change

....



**UNIVERSITE NATIONALE D'AGRICULTURE**



<https://stsa.una.bj/index.php/st>



National University of Agriculture  
**Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture (STSA)**  
ISSN: 1659-5726 (Online) 1659-634X (Print) <https://www.stsa.una.bj/index.php/st>

**SOMMAIRE**

|                                                                                                                                                                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Rural-Rural Migration: fight or flight way to mitigate Climate Change effect in Northern Benin?.....                                                                                                                | 105 |
| Typologie des aménagements des bas-fonds rizicoles dans la vallée du Niger au Bénin.....                                                                                                                            | 117 |
| Spatio-temporal analysis of knowledge on the linkage between urban green spaces and climate change.....                                                                                                             | 126 |
| Identification et description des systèmes cultureux de production de gingembre au Bénin.....                                                                                                                       | 139 |
| Roadside invasive Hyptis suaveolens ((L.) Poit, 1806) colonies green energy potential in the soudano-guinean regions of Benin.....                                                                                  | 150 |
| Spatial Dynamics of Human-Primate Conflicts and Adaptive Coexistence Strategies in Togo: Contributions of Participatory Mapping and Community Perceptions.....                                                      | 164 |
| Analyse Bibliographique des Impacts Climatiques sur la Culture du Sorgho et Implications pour l'Amélioration de sa Résilience en Afrique de l'Ouest.....                                                            | 176 |
| Analyse scientométrique des publications parues entre 1982 et 2024 sur les effets socioéconomiques et environnementaux des réservoirs d'eau en lien avec la résilience des agro-éleveurs en Afrique de l'Ouest..... | 190 |
| Genetic Improvement of Rice Aroma in Africa.....                                                                                                                                                                    | 202 |
| Trans-stadial effects and larvicidal potential of jatropha (Jatropha curcas) and castor (Ricinus communis) oils on Spodoptera frugiperda in laboratory.....                                                         | 211 |



National University of Agriculture

## Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture (STSA)

ISSN: 1659-5726 (Online) 1659-634X (Print) <https://www.stsa.una.bj/index.php/st>

VOLUME 4 N° 1 (ORIGINAL ARTICLE)

**Rural-Rural Migration: fight or flight way to mitigate Climate Change effect in Northern Benin?****Alice Bonou<sup>1</sup>, Janvier Egah<sup>2</sup>, Anna Veronika Bachan-Juris<sup>3</sup>, Leonard Wantchekon<sup>4,5</sup>, Gauthier Biaou<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Laboratoire d'Economie Rurale et de Sciences Sociales pour le Développement Durable, Université Nationale d'Agriculture, Bénin, email: [gbiaou@yahoo.fr](mailto:gbiaou@yahoo.fr)<sup>2</sup>Laboratory Society- Environment (LaSEn), University of Parakou, Bénin, email: [egahjanvier@gmail.com](mailto:egahjanvier@gmail.com) or [janvier.egah@fa-up.bj](mailto:janvier.egah@fa-up.bj)<sup>3</sup>University of Minnesota, USA, email: [avb308@nyu.edu](mailto:avb308@nyu.edu)<sup>4</sup>African School of Economics, Bénin and Côte d'Ivoire,<sup>5</sup>University of Princeton, USA, email: [lwantchekon@gmail.com](mailto:lwantchekon@gmail.com)**ABSTRACT**

Adaptation to climate change is a challenge for the agricultural sector taking into account its important place in the economy of West African countries. Agricultural sector often struggles to ensure the daily life of farmers, which sometimes forces them to migrate in search of a better economic life. This paper focuses on climate change and how it results in these complex migratory flows. Moreover, the paper offers empirical evidence on migration as a purposeful strategy for running away or fighting/coping with/adapting to evolving conditions. The study was conducted in Northern Benin, where 60 farmers were interviewed. For this purpose, descriptive statistics were used to explain farmers' perceptions of migration as a technique for income diversification. Moreover, a logistic regression model is used to investigate the factors influencing migration decisions in Northern Benin. The result indicates that Beninese farmers seek work in other farms (outside their village or community) and jobs as miners or in other small-scale trades, primarily for economic reasons. Furthermore, vulnerability to climate change, household and family characteristics are the root of economically driven migration. The recommendations involve a call for the government/NGO to come in and spread awareness that climate change is man-made and thus can be stopped. Moreover, strategies for adaptation that don't require them to move will be highlighted. Farmers need to join into agricultural cooperative and seek agricultural credit, technical assistance and NGO's or government programs on climate-smart agriculture.

**Key words:** Migration, Climate change, Adaptation, Agriculture, Benin**RESUME**

L'adaptation au changement climatique est un défi pour l'agriculture qui occupe une place importante dans l'économie des pays d'Afrique de l'Ouest. L'agriculture peine souvent à assurer la vie quotidienne des agriculteurs, obligeant parfois ces derniers à migrer pour la recherche d'une meilleure vie économique. Cet article se focalise sur la manière dont le changement climatique entraîne des flux migratoires complexes. Il fournit également des suppléments sur la migration en tant que stratégie d'adaptation au changement climatique. L'étude a été réalisée au Nord-Bénin où 60 agriculteurs ont été interrogés preuves empiriques. La statistique descriptive a été utilisée pour expliquer les perceptions des agriculteurs sur la migration comme technique de diversification des revenus. Un modèle de régression logistique a également été utilisé pour étudier les déterminants de la décision migratoire au Nord-Bénin. Le résultat indique que les agriculteurs béninois cherchent du travail dans d'autres exploitations agricoles (en dehors de leur communauté), ainsi que des emplois agricoles ou dans d'autres petits métiers, pour des raisons essentiellement économiques. De plus, la vulnérabilité au changement climatique et les caractéristiques des ménages sont à l'origine des migrations économiques. Les recommandations visent à motiver les gouvernements et les ONG à intervenir et à sensibiliser le public sur le fait que le changement climatique est d'origine humaine et peut donc être stoppé. De plus, des stratégies d'adaptation ne nécessitant pas de déplacement seront mises en exergue. Les agriculteurs doivent se constituer en coopératives agricoles et rechercher des crédits agricoles, une assistance technique et des programmes d'ONG ou gouvernementaux en faveur d'une agriculture respectueuse du climat.

**Mots clés :** Migration, Changement Climatique, Adaptation, Agriculture, Bénin

Corresponding author: Alice BONOU

Received in Aug 2020 and accepted in jan 2025

E-mail address: [alice.bonou@gmail.com](mailto:alice.bonou@gmail.com)

## 1. Introduction

The relationship between migration and the environment has long been discussed in academic and policy circles (Mukherjee & Fransen, 2024; Fernández et al., 2024; Szaboova et al., 2023; Kaczan & Orgill-Meyer, 2020). The impact of climate change on migratory flows is twofold. On one hand, short-term events such as natural disasters forcefully displace large populations on national and international levels. Scientists predict that these events will cause mass displacements of thousands of “environmental refugees”, a phenomenon which will dominate international relations in the 21<sup>st</sup> century (International Organization for Migration - IOM, 2019). On the other hand, slower long-term changes in the environment, such as increasing temperatures, drought, irregular rainfall seasons, rising water levels and soil erosion, will drive migratory movements within and across national borders (Zickgraf, 2016). For the latter case however, it will be more difficult to measure flows, as they will occur over longer periods of time more erratically or circularly or a pattern, as opposed to permanent mass movements (Cattaneo, 2019). This paper focuses on long term environmental change and how it results in these complex migratory flows. The discussion of the environment-migration nexus is controversial, as it is often difficult for researchers and practitioners to extract environmental factors as sole drivers of flows, as they are inextricably interwoven with other economic and social factors (Bohnenkämper et al., 2024; Bezu et al., 2020). In addition, low-income countries in the developing world are more vulnerable and prone to the negative effects of climate change, as they lack infrastructure and resources to rapidly address these changes (Bonou et al., 2024; Ahir et al., 2021; Coulibaly et al., 2020; Lokonon, 2019). However, in academic and policy circles, many misconceptions in the status quo scenario claim that climate change will cause large-scale international movements from rural to urban areas and from developing to more developed countries (Crawford et al., 2023; Majumdar & Weber, 2023). Governments worldwide have also perceived and approached migration from rural to urban areas as a negative phenomenon, leading to an abandoned agricultural sector and crowded cities with high unemployment rates. These governments focus on directing their respective policies to limit this type of migration which is difficult to address (Butros et al., 2021). These initial perceptions fail to consider the second type of environmental change. Long term effects, such as those listed above, have produced movements, often to neighboring countries or within the country's national borders (Tacoli, 2009). Migration is complex and is often pursued for different purposes. It can in some cases exemplify a failure to adapt to change in the physical environment, and thus becomes a coping mechanism and essential ‘fight or flight’ decision for agricultural laborers (Rademacher-Schulz, 2014). On the other hand, migration can be a deliberate action or adaptation strategy (*ibid*). Choosing to migrate during the dry season to work elsewhere has for decades been a strategic choice for sustaining rural livelihoods. In this case, the difference between coping and adaptation in reaction to environmental change is determined by factors such as education, income level, productivity, household size, soil degradation and the communities’ realities (Rademacher-Schulz, 2014).

In rural areas, as dry seasons become longer due to climate change, farmers engage in migration to find employment and other sources of

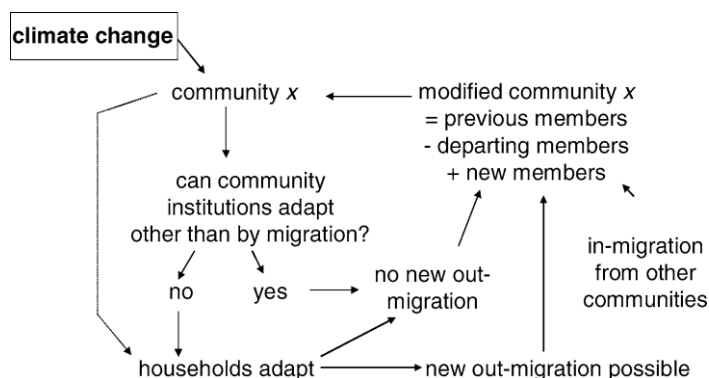
income outside their communities, send their income home, and return to farm again during the rainy season (Kraler et al., 2011). Therefore, the link between climate and migration in the country is apparent and merits further inquiry. The fundamental question of this research is: How do long-term environmental changes influence migratory flows, particularly migration, and to what extent does this migration serve as an adaptation strategy rather than merely a survival mechanism? The link between climate and migration in Africa is established based on perceptions of individuals or using a qualitative approach (Gemenne et al., 2017; Le Corre, 2016; Bambara et al., 2013). Up to date, no research focuses on this domain in Benin. This paper attempts to fill in this gap by combining qualitative approach and quantitative approach to establish a link between migration and climate change in Benin. It highlights how choosing migration is a positive phenomenon, an adaptive strategy for a changing environment, a means for income diversification, and for reducing vulnerability in the household and farm. It also provides additional empirical evidence on migration as an adaptation strategy.

As policies are made on local studies, the following research questions are answered:

- Can migration flows be attributed to the consequences of climate change in Northern Benin?
- Can a connection be made between migration and environmental change in a larger context?
- Which socioeconomic characteristics of farmers influence their migration decision and why?
- Can migration be identified as an adaptation strategy to the changing climate?

The answer to all these questions allows us to uncover the complex relationship between mobility and environmental change in Benin. Without acknowledging this at government level, national authorities will continue to fail by addressing temporary migratory movements (and informal remittance flows) which take place nationally or with neighboring countries (and are thus more difficult to track in censuses). By rethinking the approach to the environment-migration nexus, governments and other actors can gain a better understanding of how migration can be a positive strategy to combat climate change, food insecurity, and rural poverty. It is also crucial for the farmers to understand the difficulties by using migration as a tool to cope with climate change consequences. The phenomenon of migration in general, and as a climate adaptation strategy, has not been studied in depth, nor implicated in government policy/practice in Benin. Therefore, this case study focuses on three regions in Northern Benin and aims to identify farmers’ perceptions of climate change and migration as a means for sustaining livelihoods. In this paper, we used descriptive statistics to explain farmers’ perceptions of climate change and adaptation techniques, and their perceptions of migration as a technique for income diversification. Moreover, logistic regression model is used to investigate the factors that can influence migration decisions in Northern Benin.

## 2. Theoretical and conceptual framework



*Migration as an Adaptation to Climate Change, McLehman, (2016)*

Those choosing to migrate utilize the process as a mechanism for income diversification and risk management, thus securing their livelihoods against their volatile environment (Rademacher-Schulz, 2014). Adaptive migration also compensates for the lack of employment opportunities during dry season, reduces the pressure on household food stocks, and seasonal income variability (Silchenko & Murray 2023; Demont, 2022).

Due to its climatic conditions and recent migratory statistics, Benin is an ideal case study for this type of research. The country is especially vulnerable to climate change as its agricultural sector is “rain-fed” while employing a vast majority of the rural population (Klutse et al., 2021). A recent study has reported that the primary effects of climate change nationally include endangered farmer livelihoods and food scarcity (Farooq et al., 2022; Muluneh, 2021). Reported changes in environment were cited primarily as delayed rainy seasons, increased floods, multiplication of drought and dry spells, increased strong winds and greater heat (Baudoin et al., 2014).

In regards to migration, the number of Beninese nationals migrating to other countries has rapidly increased. The IOM has recently reported over 4.4 million Beninese, over half the population, has migrated in their lifetimes (IOM, 2020). 69% of these migrants have gone to Nigeria (Dreier & Sow, 2015). Population growth, poverty, difficult climatic conditions and dwindling natural resources justify these increased migratory flows (Ali et al., 2023; Hermans & McLeman, 2021).

## 3. Materials and Methods

### 3.1 Study area

This paper focuses on the Benin case study. The factor that makes Benin crucial for climate change research is that its economy is dependent on agriculture, which is rain-fed, and thus makes it even more vulnerable to a changing environment (Baudoin, 2015). In Benin, the northern region is chosen because it is a dryland with a stressed climatic condition that forces youth to look for alternatives (Akponikpe et al. 2019). It concerns the departments of Atacora, Donga and Alibori. In each department, one commune is selected with two villages.

This study was conducted in three communes: Ouaké, Boukoubmé and Banikoara (figure 1).

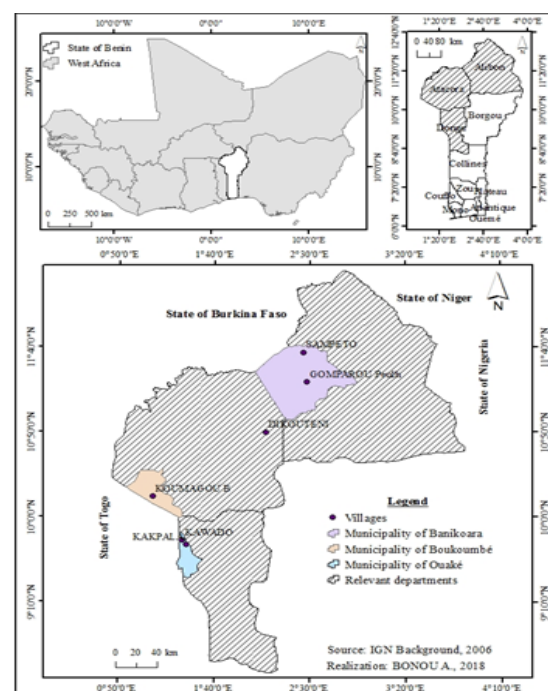


Figure 1: Study Area (Source: Bonou, A. 2018)

They differ by agro-ecological zoning. Ouaké and Boukoubmé fall in the West Atacora Zone which is vulnerable to climate change (Akponikpe et al. 2019). The third commune, Banikoara, falls in the Cotton Zone of Northern Benin, an area that is watered by the Niger River and is influenced by the continental Alizé. This zone is less vulnerable to climate change (Akponikpe et al. 2019).

Another criterion that confirms this selection is the migration trend. In 2016, 23 404 individuals migrate from Atacora. In Donga, 17 142 individuals migrate while 14 485 individuals migrate from Alibori (INSAE, 2016). The three communes also differ by climate gradient based on the bioclimatic classification of Aubreville (1949). They fall into the Sudanian climate, which is characterized by a unimodal rainfall pattern. The rainy season starts approximately in May and ends in October (Fontes & Guinko, 1995).

The survey covers two communities/villages in each commune: Boukoubmé (Dikouteni and Koumago); Banikoara (Gomparou Peulh and Sampeto) and Ouaké (Kakpala and Kawado). The selection of the communities was based on the level of vulnerability to climate change. Banikoara, located in northern Benin's cotton belt, is highly specialized in cotton production, a key agricultural sector for the national economy. Despite the presence of 21 reservoirs and 63 lowland areas designated for agriculture and fishing, managing these water resources remains a challenge due to climatic variability (Alokpai et al., 2024). Rain-fed agriculture is the dominant economic activity in Banikoara. However, climate variability has led to fluctuating yields, prompting widespread seasonal and permanent migration in search of more favorable farming conditions. Migration is thus emerging as a primary adaptation strategy against climate-induced rainfall variability and declining crop yields.

The Commune of Ouaké is located in the northwest of the Donga Department, situated between the parallels 9°23' and 9°51' North

latitude and the meridians 1°20' and 1°35' East longitude. It encompasses sixty-one (61) villages and urban quarters. The Commune of Ouaké enjoys a humid Sudanese climate with two (02) seasons: a rainy season from May to October and a dry season from November to April. A hydrographic network from the Volta basin flows across this terrain, influenced by the hydrological regime of the Volta basin. This network consists of rivers and seasonal streams (Djodjo, 2018).

The Commune of Boukoubé is located in the Atakora Department, in the north-west of Benin. Boukoubé is situated 54 kilometers from Natitingou, the departmental capital, and approximately 600 kilometers from Cotonou. Boukoubé has 13,608 households, with a predominantly young population. The elderly population (aged over 60) is very small, with a rate of 5.82% (Agbanou, 2018).

Although Ouaké and Boukoubé belong to different agroecological zones, they face similar climate-induced challenges. Their unique geographical and climatic characteristics shape local agricultural practices and drive adaptive strategies developed by communities to mitigate climate-related risks. Examining these communes provides valuable insights into the localized impacts of climate change and the adaptive responses implemented to safeguard food security and community well-being.

### 3.2. Data collection and questionnaire designing

Three-stage sampling method was used. The primary sampling units are three communes purposively selected in North Benin. The secondary sampling units are six communities purposively selected. The tertiary sampling units are 60 farmers with 10 farmers randomly selected from each community. They were interviewed by two enumerators who are agricultural economists using the semi-structured questionnaires. The interviews were performed in the local languages (for this, interpreters were hired), while the questionnaire was in French. Data collection was done from 28<sup>th</sup> August to 4<sup>th</sup> September, 2017. Data collected are the socioeconomic characteristics (age, sex, decision maker, education background, household size, experience, farm size, ethnicity, agriculture as the main source of income), farmer perceptions of migration (origins, destination and patterns) and the drivers of migration decision.

### 3.3 Data Analysis

The tables, graphs, and descriptive parameters (mean, standard deviation, and frequencies) are used to analyse socioeconomic characteristics and farmers' perceptions of climate change and adaptation techniques. Subsequently, descriptive statistics were used to explain farmers' perceptions of migration as a technique for income diversification. In addition, descriptive statistics allowed us to demonstrate the realities of migratory movements, the sending of remittances, and migrant return to their communities of origin.

To assess the drivers of the decision to migrate, socioeconomic and demographic characteristics, and location variable are analysed using a logistic regression. The dependent variable was the migration decision (fjob), and the independent variables included age (age), experience working in agriculture (expe), household-head level of education (instruc), size of land cultivated (sup), household size (hhsiz), number

of males (nmhh) and females (nwvh) in the household, department of origin (depart), whether they receive government or NGO assistance or agricultural credit (acret), and whether agriculture is their only source of income (agrev). In addition, we added variables to explain farmer's perception of climate change, specifically the extent to which they recognized climate change as a threat to their livelihood (apc\_lab) and whether they thought adaptation was possible (mcc).

As the dependent variable (fjob) is binary, the logistic regression gives us the probability or decision whether the head of household migrates or not. Therefore, the migration decision can take the following values: fjob = 1 if the head household answers 'Yes' for migration and fjob = 0 if the head household answers 'No'. The general equation of logistic regression model specification is given as follows:

$$P_i = \text{prob}(y_i = 1) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha_i X_i}}$$

- $\alpha_i$  is the coefficient of the  $i^{\text{th}}$  characteristic;
- $X_i$  represents the independent variables which are the  $i^{\text{th}}$  characteristic of the household

## 4. Results

### 4.1. Socioeconomic characteristics of farmers.

From the sample pool, the vast majority of farmers interviewed were male (95%) and considered themselves to be the primary household decision makers (93%). They identified with different ethnic groups, primarily as Otammari (36%) and Lokpa (31%). The average age of interviewed farmers was 44 years, with the majority aged from 24 to 60 years. The majority of farmers had no formal education (56%), followed by those who possessed a primary level (21%) and secondary level of formal schooling (21%). The average number of individuals living in a single household was 11. The result shows 25 years as average number of years of experience in agriculture and with most farmers in the 15-40 years' bracket (Table 1).

Table 1: Variables and descriptive statistics

| Qualitative variables                           |            |                 |
|-------------------------------------------------|------------|-----------------|
| Variable names                                  | Modalities | Frequencies (%) |
| <b>Sex</b>                                      | Man        | 95              |
|                                                 | Female     | 5               |
|                                                 | Total      | 100             |
| <b>Education</b>                                | None       | 56.67           |
|                                                 | Primary    | 21.67           |
|                                                 | Secondary  | 21.67           |
|                                                 | Total      | 100             |
| <b>Ethnicity</b>                                | Otammari   | 36              |
|                                                 | Gando      | 13              |
|                                                 | Lokpa      | 31              |
|                                                 | Bariba     | 10              |
|                                                 | Others     | 10              |
|                                                 | Total      | 100             |
| <b>Agriculture as the main source of income</b> | Yes        | 51.67           |
|                                                 | No         | 48.33           |
|                                                 | Total      | 100             |
| Quantitative variables                          |            |                 |
| Variables names                                 | Mean       | Std. Dev.       |
| Household size                                  | 11.18      | 7.29            |
| Experience                                      | 24.82      | 14.37           |
| Farm size                                       | 5.63       | 5.93            |

Source: Data collected, 2017

Regarding farming, the average farm size is 5.63 ha. Also, almost all farmers (97%) employed family members as the main workforce for the farm instead of hiring laborers. Over half of the farmers interviewed (52%) relied on agriculture as their primary source of income. Only a minor percentage of farmers (35%) claimed to belong to an agricultural association in their community. Lastly, only a small minority of farmers (7%) claimed they had ever been assisted in their activities by the government, NGOs, or other organizations (Table 1).

## 4.2. Farmer perceptions of climate change and adaptation

### 4.2.1. Climate change causes & farmer recognition/appreciation

Among the respondents, the majority of farmers (52%) perceived that the climate had changed most significantly in the last 1 to 5 years compared to observations made a decade ago. Secondly, over third

(35%) of farmers perceived the climate to have changed the most significantly in the past 6-15 years (Table 2). Most interviewed farmers believed “supernatural forces” were the primary cause of climate change (48%). Sample responses included the “will of God”, “God’s anger against humanity”, and the “divine plan”. The concept of climate change being related to supernatural forces is an important issue. That means that people are helpless in the face of it. This shows the need to spread awareness that climate change is man-made and thus can be stopped. Around a third of farmers interviewed (29%) believed natural phenomena were the primary causes of climate change, these included “changing natural processes”, “animal migration”. On the contrary, man-made causes included deforestation (18%), such as burning of grasses and trees and neglecting fallow. The last-mentioned cause was the misuse or overuse of pesticides and chemicals (2.5%) and disrespect for nature in general (Table 2).

| Variables names                                 | Modalities                                    | Frequencies (%) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-----------------|
| Perception of climate change                    | last 1 to 5 years                             | 52              |
|                                                 | last 6 to 15 years                            | 35              |
|                                                 | last 15 to 30 years                           | 13              |
|                                                 |                                               |                 |
| Primary cause of climate change                 | supernatural forces                           | 48              |
|                                                 | natural phenomena                             | 29              |
|                                                 | man-made : deforestation                      | 18              |
|                                                 | misuse or overuse of pesticides and chemicals | 2.5             |
|                                                 | Don't know                                    | 2.5             |
|                                                 |                                               |                 |
| Current major impacts of climate change on farm | meager and unproductive harvests              | 63              |
|                                                 | soil degradation                              | 30              |
|                                                 | Other                                         | 7               |
|                                                 |                                               |                 |
| Future impacts of environmental change          | famine and future food scarcity               | 62              |
|                                                 | land unproductive in the future               | 17              |
|                                                 | abandoning agriculture                        | 12              |
|                                                 | Don't know/ Other                             | 9               |
|                                                 |                                               |                 |
| Climate change adaptation techniques            | Reforestation                                 | 80              |
|                                                 | need more information and advice              | 11              |
|                                                 | abandon chemical fertilizers                  | 2               |
|                                                 | Don't know                                    | 7               |
|                                                 |                                               |                 |
| Source of information regarding climate change  | Radio                                         | 72              |
|                                                 | Friends                                       | 15              |
|                                                 | TV                                            | 10              |
|                                                 | personal Observation                          | 3               |

Table 2 : Farmers' perceptions of climate change and adaptation techniques

Source: Data collected, 2017

#### 4.2.2. Climate change effects

Currently, as an effect of these environmental changes, several farmers (63%) noted experiencing meager and unproductive harvests, due to the proliferation of new harmful weeds and insects that damaged crops. Less than a third of farmers (30%) specified soil degradation as a major effect, and attributed soil poorness and infertility to strong winds and torrential rains, flooding, erosion, as well as lack of access to high-quality (and affordable) organic fertilizers (Table 2).

Most respondents (62%) expressed fear of upcoming famine and future food scarcity and inability to produce sufficiently to feed their families when asked about how future environmental change could affect their farms. One farmer lamented: *"hunger will kill me and my family"*, and another claimed, *"We will not be able to harvest anymore. We will die out of hunger"*. Many others alluded to similar *"end of the world"* situations related to famine and food scarcity. Other farmers expressed that climate change would make their land unproductive in the future. A small number of farmers (12%), explicitly mentioned abandoning agriculture as their primary income-generating activity if the environmental change were to worsen. It is sorrowful to note here that a certain degree of fatality can be read from farmers' responses, which sheds interesting insights on the degree to which adaptation to climate change is even possible/and or accepted by local populations of Northern Benin (Table 2).

#### 4.2.3. Climate change adaptation & information

When asked whether it was possible or necessary to adapt to environmental changes caused by the changing climate, exactly 50% of respondents agreed that adaptation to climate change was possible and necessary while the others disagreed. Of those who agreed, the primary adaptation technique suggested by most of the respondents (80%) was reforestation (Table 2). One farmer claimed it was crucial to promote the following techniques: reforestation, planting trees, organizing prayers, raising awareness of the need to respect natural laws. Another farmer emphasized that farmers should respect nature, not cut trees anarchically, and respect the sacred forests. Some farmers (11%) also claimed they needed more information and advice regarding environmental change and strategies for adaptation. Finally, one farmer claimed, *"NGO and government can give us more insights into how to mitigate these changes"*.

Moreover, data were collected on the sources of climate change information by the farmers. Most of the farmers (72%) claimed to inform themselves on climate change and environmental issues on the radio. Other listed sources including learning from friends (15%), the television (10%) and personal observation (3%). (Table 2).

#### 4.2.4. Perceptions of migration among smallholder farmers

In this section, the analysis of the origins, destinations and patterns are carried out. From the sample pool, a majority of respondents (67%) claimed they personally knew an individual from their own families who had migrated to find a job outside of the village. Therefore, we can assume that migration or mobility of farmers has been generally recognized as a contemporary phenomenon in the study area.

Most of the respondents from the Atacora region (75%) and from the Donga region (95%) claimed someone had migrated from their families. On the contrary, less than half (42%) of respondents from the Alibori region claimed someone from their families had migrated (See Figure 2).

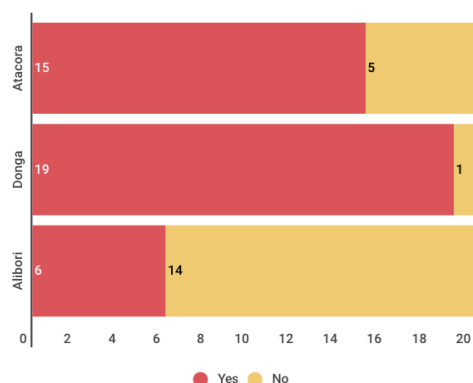


Figure 2: Number of migrants by department

As the data shows, most of farmers interviewed claimed they knew an individual who had migrated to Nigeria (40%), to another area of Benin (37%), to Togo (13%), while only 5% mentioned Niger (Figure 3).

| Migrant destination                   | Frequency | Percentage |
|---------------------------------------|-----------|------------|
| Nigeria                               | 16        | 40%        |
| Benin (Parakou, central region, etc). | 15        | 37%        |
| Togo                                  | 5         | 13%        |
| Niger                                 | 2         | 5%         |
| Did not know anyone who migrated/No   | 1         | 3%         |
| Other country - unspecified           | 1         | 3%         |
| Total                                 | 40        | 100        |

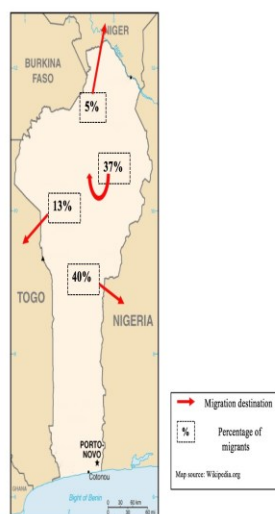


Figure 3: Map of migrant destinations

Regarding the patterns of migration, most farmers who migrate in rural Benin employ themselves in agriculture (manual labor) in other rural areas (79%) (Figure 4 a). Therefore, this migration pattern can be predominantly characterized as rural-rural. From the literature, rural-rural migrants are predominantly employed in agriculture, farming, and manual labor. In addition, a small minority (9%) found jobs in mining and other sectors (13%) including commerce and other trades such as masonry, carpentry, and welding (Figure 4a). It is also important to

recognize the frequency of migrants return home. From the respondent pool, 41% of respondents claimed migrants usually returned on an annual basis. About a third of farmers (28%) have claimed migrants returned on a biannual or seasonal basis, leaving during the dry season and returning for the rainy season. A quarter (24%) claimed they returned only occasionally, for special events or to visit their families and only 7% claimed they never returned (Figure 4b).

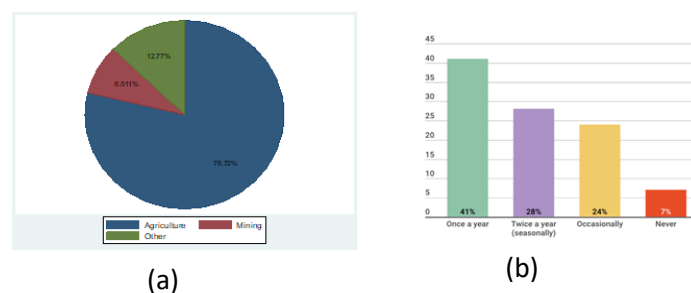


Figure 4: Migrant sectors of employment (a) and rate of migrant return (b)

#### 4.3. Drivers of migration decision

The logit results highlight migration decision of a member of the household is determined by six variables (Table 3). There are: Department of the origin of the migrant (depart), Experience working in agriculture (expe), Size of household (hhsz), Number of males in the household (Nmhh), Number of females in the household (nwfh), and Age of the head of household (age). The first three variables negatively influence the decision to migrate, whereas the rest of the variables positively influence the decision.

The variable "Department of the origin of the migrant (depart)" was negatively significant. Migrants from Atacora and Donga departments were more likely to migrate and knew more farmers that migrated from their own families than those from the Alibori department. This can be explained due to various factors. Environmental and ecological divergences, as discussed in the study area section, partially explain these differences. Another significant variable was the number of years of farming experience. It negatively affects the desire or decision to migrate. Thus, the more established a farmer is, the lower the probability is for him to leave the household to find work elsewhere. Subsequently, the larger his household size is, the lower the probability for a farmer to migrate. This finding is converse in the literature.

When coming to the three others variables, we have the number of females and males in the household, which are positively significant. The higher the number of females in the household, the higher the probability that the head of the household or other male would migrate. In addition, a higher number of males in the household also increases the probability that one of them will migrate. Finally, the age of the head of household was also positively significant with the decision of a member of the family to migrate. Age is a key indicator for a household head to motivate the members of the family to migrate, as the age of the head of household will increase, the probability that he or a member of

the household will migrate increases. Older farmers might have encouraged younger ones to migrate in their place. Then, they may refuse to migrate as they had worked in agriculture all their life and considered migration for labor as primarily outside the agricultural sector. Therefore, young male farmers are much more willing to consider migration than older ones (Kumar & Bhagat, 2017).

## 5. Discussion

### 5.1. Socioeconomic Causes

From the data, it is apparent that Beninese farmers seek work in other farms (outside their village or community), as well as jobs as miners or in other small-scale trades, primarily for economic reasons. Specifically, household and family characteristics are the root causes of economically-driven migration. As explained in the logit model, the number of males and females in a household is linked and highly significant in determining the migration decision. According to Jha et al. (2017) farmers seeking outside employment are more likely to do so if they support larger families with more females, as females in these regions often work in the household and rarely leave to pursue work elsewhere. In addition, when families have more males there is a larger chance that at least one of the males migrate to support the family from the outside (Egah et al., 2023). As men are more likely to migrate than females, households with more males have a higher probability of having at least one migrant. However, the variable household size negatively determines the decision to migrate. This result is also controversial in the literature (Tcha, 1995). Household size significantly influences migration patterns. Generally, larger households are more likely to migrate in search of economic opportunities and to diversify their income sources. Conversely, smaller households may be more likely to migrate with all family members, seeking a more cohesive family structure. Additionally, the marginal gain from migration can increase with larger household sizes, particularly when parents prioritize their children's well-being (Tcha, 1995). Lastly, families with larger households are likely to have at least one migrant than smaller households. This also confirms the new economics of labor migration theory that migration is more of a household decision than an individual one (Esteve et al., 2024; Egah et al., 2023; de Haas et al., 2019).

Regarding the patterns of migration, most farmers who migrate in rural Benin employ themselves in agriculture (manual labor) in other rural areas (79%). Therefore, this migration pattern can be predominantly characterized as rural-rural. In addition, a small minority (9%) found jobs in mining and other sectors (13%), including commerce and other trades such as masonry, carpentry, and welding. These activities are conducted in urban and semi-urban areas as Natitingou and Parakou, and smaller towns, including Kerou in Northern Benin as well as Savi in Eastern Nigeria. 65 % of the migrants do not return home on a biannual or seasonal basis. They stay outside their communities for more than one year or a random basis. Is this sustainable? The head of a family migrating all the time every year is not a long-term solution. In the long run, the negative consequences outweigh the positive ones. Szaboova (2023) highlights the drawbacks of migration, such as loss of population in migration source areas, climate risk in migration destination, and

material and non-material flows and economic synergies between source and destination. A long-term solution is either to invest in other techniques, such as organic fertilizer or better seeds, to fight climate change. They could also diversify their income by taking other jobs in their village or community during the dry season. This shows the need for government/NGO assistance to help farmers identify these sectors or major crops they should produce to be more competitive. Developing sensitization campaigns to inform farmers about climate change and strategies for adaptation that don't require them to move.

Considering the theory of rural migration as a strategy for income diversification, past studies, such as Dreier and Sow (2015) and Egah et al. (2023), found that farmers in rural areas migrated to work in farms or other sectors to make a steady income flow and remit these funds to their families back home. Therefore, the awareness of income diversification as an adaptation strategy is prevalent. From the data, most farmers did not migrate with the initial thought that working elsewhere and sending money home could protect them in times of financial difficulty. Similarly, it is important to note that almost half of the respondents (48%) claimed to have another existing income source outside of agriculture and thus already engaged in income diversification. Some farmers do not send their remittances home. Considering this fact, farmers are engaged in it without needing to migrate. Thus, in this specific case study, income diversification cannot be secluded as a primary driver for rural-rural migration. In addition, according to respondents, only 50% of migrants sent home remittances while the others did not. This result was not predicted, as migrants usually send home at least some of their savings. However, it is important to note that migrants work on farms for at least the harvest period and thus it takes time for them to accumulate income which they could bring home in person rather than send it. The lack of remittances could also be explained by the family being able to sustain itself with the food stock (subsistence farming) or from other existing income sources. If migrants fail to send home remittances, they can still stabilize the household by bringing back income in person upon return home. Thus, migration can stabilize the household financial situation and act as a safety net in case of outside shocks or events.

The lack of labor in rural areas is another socioeconomic driver behind rural-rural migration flows. Sociocultural barriers also prevent locals from earning a wage for labor on farms in their communities. Considering that almost all farmers (97%) utilize family members for the primary labor force on their farm, it is not commonplace in these communities for farmers to find jobs working outside of their families' farm. Therefore, one could infer those farmers migrate to other communities to look for income-generating jobs, since getting paid for their labor by their families is not an option, and looking for jobs in their communities is not socially accepted. A study on migration and income diversification in Burkina Faso found that there is "cultural barrier" between offering labor for a wage in one's community, as it can be a "sign of inability to sustain production on one's own fields" (Wouterse & Taylor, 2008). In this sense, when local labor options are unavailable due to economic and sociocultural reasons, farmers must leave to look for jobs. Lastly, the majority of farmers interviewed worked independently. A very small number of respondents (7%)

currently or in the past has been assisted by NGOs, the government, or other organizations in their agricultural activities. In addition, only 18% of those farmers currently use agricultural credit.

## 5.2. Environmental Causes

Analysing why individuals would potentially migrate due to environmental factors, it is crucial to first examine the role of geographic location. The department was one of the most significant variables in determining the migration decision. Migrants from Atacora and Donga departments were more likely to migrate and knew more farmers who migrated from their families than those from the Alibori department. As we know, West Atacora Zone and Donga are more vulnerable to climate change, while Alibori is less affected (Akponikpe *et al.* 2019). Then the deduction is that the decision to migrate is more likely to be high in regions vulnerable to climate change rather than the other one (Kaczan & Orgill-Meyer, 2020; Neumann & Hermans, 2017). It is also important to consider the frequency of migrant return. Usually, migrants (41%) claimed to return on an annual basis, 28% claimed migrants returned on a biannual or seasonal basis, and 24% claimed they returned only occasionally. It means that 65% stay outside during the rainy season. If season change was the major push factor, a larger percentage of migrants would be expected to return on a seasonal basis. According to a past study on rural-rural migration in Benin, Dreier and Sow (2015) found Bialaba farmers from Northern Benin migrated during dry seasons to work elsewhere and remitted money upon returning to farm at home during the rainy season. In this case, the same pattern cannot be identified because less migrants returned on a seasonal basis (28%). The conclusion is that environmental changes are the primary drivers of this movement instead of seasonal change. The high vulnerability of farmers to climate change in Atacora and Donga departments is related to high exposure, high sensitivity and less adaptation capacity to climate change (Akponikpe *et al.* 2019). This vulnerability forces them to migrate the whole year, abandoning their unproductive land.

Lastly, can migration in this case be singled out as an adaptation technique? The data show that when asked whether farmers could adapt to climate or environmental changes in the future, half of them responded positively and the other half negatively. Of those who believed climate change was caused by human activity (33%), almost all (90%) felt that it was necessary to adapt to and mitigate climate change. Of those who believed climate change was caused by natural phenomena (45%), only a third felt that it was necessary to adapt to and mitigate climate change. Lastly, of those who believed supernatural forces caused climate change (Bonou, 2023), the majority (77%) felt it was not possible nor necessary to adapt to or mitigate climate change. It is crucial here to draw the connection between the belief that climate change is man-made and the willingness or desire to adapt. When asked about methods of adaptation, the technique suggested by farmers was reforestation (80%), while other farmers (11%) claimed they needed more information and advice regarding environmental change and strategies for adaptation. Thus, migration was not explicitly referred to as an adaptation technique in the face of the changing climate. This result is in line with Fernández's (2024) finding: "Households do not

identify environmental pressures as the main cause of migration". Rather, it is a flight way to mitigate climate change effects. It is important to note here that many of the socioeconomic causes can also be attributed to environmental change and, as such, should not be regarded as isolated drivers/causes. This aligns with Fernández's (2024) finding in Bangladesh and Ghana, who said Climate shocks affecting economic security are key drivers of migration. The recommendations are to give a reason for government/NGO to come in and spread awareness that climate change is man-made and thus can be stopped. Moreover, strategies for adaptation that don't require them to move will be highlighted (Mukherjee & Fransen 2024). They need to join into agricultural cooperatives and seek agricultural credit, technical assistance, and NGO or government programs on climate-smart agriculture. Future research may investigate rural-urban migration flows and impact on the agricultural sector, such as that of *zimidjan* drivers in Benin who often travel from rural areas (due to unproductive land or for other reasons) to work as moto taxis in the cities.

## 6. Conclusion

This study investigated how climate change influences migration decisions in the studied communes. Of all the factors influencing the willingness to migrate, it is found that the main reason remains economic (job search and well-being). Although the size of the household is found to be a paramount factor, the decision to migrate is motivated by the search for a better life in targeted regions or countries. It should be noted that these migrations are temporary, while others are permanent or long-lasting. These depend on the perceptions of community members on the current and future impact of climate change on agriculture. Succinctly, the farmers of these communities see in migration a way to diversify their income on the one hand and, on the other hand, a means of securing their backs in the face of the versatility of agricultural harvests due to climate change, which most farmers attribute to "supernatural forces". The study sheds some light on the originality of the climate-spurred migration of farmers in northern Benin by lifting the veil on their primary motivation which remains besides the youth of the candidates, the willingness to satisfy their needs and endow themselves with a more or less bright future. Nevertheless, the migration was not explicitly referred to as an adaptation/coping technique in the face of the changing climate. Rather, it is a flight, a way to mitigate climate change effect on agriculture. The drivers of migration in Northern Benin are climate change and socioeconomic reasons. Most of the socioeconomic causes can also be attributed to environmental change. As such, they should not be regarded as isolated drivers/causes.

## Acknowledgements

We acknowledge BIARI (Brown University), which has founded this research. We want to thank BIARI ALUMNI RESEARCH TEAM 2016-17. We also thank ASE research assistants: Komivi Badohoun, Yannick Ngongang Mbunang, Roger Kpadonou, and Ségolène Eyebiye. Finally, we thank the enumerators: Ken Kounouewa and Morel Kogbevi, and the farmers who participated in this survey.

## References

- Agbanou, B. T. (2018). Dynamique de l'occupation du sol dans le secteur Natitingou-Boukoubé (nord-ouest Bénin): De l'analyse diachronique à une modélisation prospective [Phdthesis, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II; Université d'Abomey-Calavi (Bénin)]. <https://theses.hal.science/tel-02476241>
- Ahir, H., Garbers, H., Coppo, M., Melina, M. G., Narita, M. F., Unsal, M. F. D., Malta, V., Tang, X., Gurara, D., Zanna, L.-F., Venable, L. G., Kpodar, M. K. R., & Papageorgiou, M. C. (2021). Macroeconomic Research in Low-income Countries: Advances Made in Five Key Areas Through a DFID-IMF Collaboration. International Monetary Fund, 59p.
- Akponikpe P.B.I., Tovihoudji P., Lokonon B., Kpadonou E., Amegnaglo J., Segnon A. C., Yegbemey R., Hounsou M., Wabi M., Totin E., Fandohan-Bonou A., Dossa E., Ahoyo N., Laourou D., Aho N., (2019). Etude de Vulnérabilité aux changements climatiques du Secteur Agriculture au Bénin. Report produced under the project "Projet d'Appui Scientifique aux processus de Plans Nationaux d'Adaptation dans les pays francophones les moins avancés d'Afrique subsaharienne", Climate Analytics gGmbH, Berlin.
- Ali, S. H., Kniveton, D., & Djalante, R. (2023). Human Migration and Natural Resources: Global Assessment of an adaptive complex system, United Nations Environment Programme Report, 166p. <https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/19135/>
- Alokpai, N., Djibrila, R. Y., Tchekli, T. G. R., Sambieni, E., & Mongbo, R. L. (2024). Pour une paix durable entre agriculteurs et éleveurs au Bénin: Lessons tirées de la gouvernance des infrastructures et ressources agropastorales dans la Commune de Banikoara. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 44(1), 60-76. <http://www.ijias.issr-journals.org/>
- Aubréville, A., & Chevalier, A. (1949). Climats, forêts et désertification de l'Afrique tropicale/par A. Aubréville; préface de Aug. Chevalier. Société d'éditions Géographiques, Maritimes et Coloniales. <https://lcn.loc.gov/50000067>
- Bambara, D., Bilgo, A., Hien, E., Masse, D., Thiombiano, A., & Hien, V. (2013). Perceptions paysannes des changements climatiques et leurs conséquences socio environnementales à Tougou et Donsin, climats sahélien et sahélo-soudanien du Burkina Faso. *Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin*, 74(1), 8-16.
- Baudoin, M.-A., Sanchez, A. C., & Fandohan, B. (2014). Small scale farmers' vulnerability to climatic changes in southern Benin: The importance of farmers' perceptions of existing institutions. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(8), 1195-1207. <https://doi.org/10.1007/s11027-013-9468-9>
- Bezu S, Demissie T, Abebaw D, Mungai C, Samuel S, Radeny M, Huyer S, Solomon D. (2020). Climate change, agriculture and international migration nexus: African youth perspective. CCAFS Working Paper no. 324. Wageningen, the Netherlands: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS), 57p.
- Bohnenkämper, R., Fußeder, C., Emmanouilidis, G., Emmert, C., Habeger, M., Hartmann, N., Hohlfeldt, L., Jäckel, F., Körber, J., Listl, J., Ostendorp, F., Pantaleon Osuna, A., Steinmetzer, L., Thurl, L., Ungruhe, C., Wagener, J., & Wehner, S. (2024). Socio-economic development and migration in rural Ghana: Report from field research in Amedzofe, Volta Region. <https://doi.org/10.15475/mitrawa.upa3>
- Bonou, A., Egah, J., Aihounton, G. B. D., & Bloor, M. (2024). Impact of floods on rice production in West Africa: Micro-evidence from Benin. *Sustainable Environment*, 10(1). <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2356396>
- Bonou, A., Lokonon, B. O., Singbo, A. G., & Egah, J. (2023). Socio-demographic determinants of farmers' beliefs about climate change cause in the Sudanian zone of Benin. *Annales de l'Université de Parakou-Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 13(1), 31-42.
- Butros, D., Gyberg, V. B., & Kaijser, A. (2021). Solidarity Versus Security: Exploring Perspectives on Climate Induced Migration in UN and EU Policy. *Environmental Communication*, 15(6), 842-856. <https://doi.org/10.1080/17524032.2021.1920446>
- Cattaneo, C., Beine, M., Fröhlich, C. J., Kniveton, D., Martinez-Zarzoso, I., Mastroiello, M., Schraven, B. (2019). Human migration in the era of climate change. *Review of Environmental Economics and Policy*, 13(2), 189-206.
- Crawford, N. J. W., Michael, K., & Mikulewicz, M. (2023). Climate Justice in the Majority World: Vulnerability, Resistance, and Diverse Knowledges. Taylor & Francis. DOI:10.4324/9781003214021.
- Coulibaly, T., Islam, M., Managi, S. (2020). The impacts of climate change and natural disasters on agriculture in African countries. *Economics of Disasters and Climate Change*, 1-18.
- de Haas, H., Czaika, M., Flahaux, M.-L., Mahendra, E., Natter, K., Vezzoli, S., & Villares-Varela, M. (2019). International Migration: Trends, Determinants, and Policy Effects. *Population and Development Review*, 45(4), 885-922. <https://doi.org/10.1111/padr.12291>
- Demont, T. (2022). Coping with shocks: How Self-Help Groups impact food security and seasonal migration. *World Development*,

- 155, 105892. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305750X22000821>
- Djodjo, G. E. (2018). Entrepreneuriat agricole au Bénin: étude économique de la production du riz de bas-fonds à Ouaké. *Repères et Perspectives Économiques*, 2(1). <https://doi.org/10.34874/IMIST.PRSM/RPE/11340>
- Dreier, V., & Sow, P. (2015). Bialaba Migrants from the Northern of Benin to Nigeria, in Search of Productive Land—Insights for Living with Climate Change. *Sustainability*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/su7033175>
- Egah J., Bonou A., Baco M. N., Moumouni I. M., Kestemont M-P. (2023): Les migrations agricoles participent-elles à la conservation de l'agrobiodiversité? Cas de l'igname au Nord-Bénin, Afrique de l'Ouest. *Cah. Agric.* 2023, 32, 18. <https://doi.org/10.1051/cagri/2023011>.
- Esteve, A., Pohl, M., Becca, F., Fang, H., Galeano, J., García-Román, J., Reher, D., Trias-Prats, R., & Turu, A. (2024). A global perspective on household size and composition, 1970–2020. *Genus*, 80(1), 2. <https://doi.org/10.1186/s41118-024-00211-6>
- Farooq, M. S., Uzair, M., Raza, A., Habib, M., Xu, Y., Yousuf, M., Yang, S. H., & Ramzan Khan, M. (2022). Uncovering the Research Gaps to Alleviate the Negative Impacts of Climate Change on Food Security: A Review. *Frontiers in Plant Science*, 13. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.927535>
- Fernández, S., Arce, G., García-Alaminos, Á., Cazcarro, I., & Arto, I. (2024). Climate change as a veiled driver of migration in Bangladesh and Ghana. *Science of the total environment*, 922, 171210.
- Fontès, J., & Guinko, S. (1995). *Carte de la végétation et de l'occupation du sol du Burkina Faso*.
- Gemenne, F. (2017). The refugees of the Anthropocene. In: *Research handbook on climate change, migration and the law* (pp. 394-404). Edward Elgar Publishing. <https://doi.org/10.4337/9781785366598.00025>
- Hermans, K., & McLeman, R. (2021). Climate change, drought, land degradation and migration: Exploring the linkages. *Current opinion in environmental sustainability*, 50, 236-244. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877343521000701>
- INSAE. (2016). *Recensement Général de la Population et de l'Habitation (RGPH4). Résultats Définitifs*. INSAE : Cotonou, Bénin ; 209.
- IOM. (2019). World Migration Report 2020. United Nations. <https://doi.org/10.18356/b1710e30-en>
- IOM. (2020). World Migration Report 2024. <https://publications.iom.int/books/world-migration-report-2024>
- Jha, C. K., Gupta, V., Chattopadhyay, U., & Sreeraman, B. A. (2017). Migration as adaptation strategy to cope with climate change: A study of farmers' migration in rural India. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 10(1), 121-141. <https://doi.org/10.1108/IJCCSM-03-2017-0059>
- Kaczan, D. J., & Orgill-Meyer, J. (2020). The impact of climate change on migration: a synthesis of recent empirical insights. *Climatic Change*, 158(3), 281-300. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02560-0>
- Klutse, N. A. B., Owusu, K., Nkrumah, F., & Anang, O. A. (2021). Projected rainfall changes and their implications for rainfed agriculture in northern Ghana. *Weather*, 76(10), 340-347. <https://doi.org/10.1002/wea.4015>
- Kraler, A., Kofman, E., Kohli, M., & Schmoll, C. (2011). Gender, generations and the family in international migration. *Amsterdam University Press*. <https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/34532>
- Kumar, N., & Bhagat, R. B. (2017). Interaction between migration and development: A study of income and workforce diversification in rural Bihar. *Environment and Urbanization ASIA*, 8(1), 120-136. <https://doi.org/10.1177/0975425316683869>
- Le Corre, M. R. V. (2016). Influence du climat, de la disponibilité des ressources et de la taille des populations sur la phénologie et les patrons de migration du caribou migrateur, "Rangifer tarandus". Philosophiæ doctor (Ph. D.) -- Université Laval, 2016, 144 pages.
- Lokonon, B. O. K. (2019). Farmers' vulnerability to climate shocks: Insights from the Niger basin of Benin. *Climate and Development*, 11(7), 585-596. <https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1511403>
- Majumdar, R., & Weber, E. U. (2023). Multilevel intergroup conflict at the core of climate (in)justice: Psychological challenges and ways forward. *WIREs Climate Change*, 14(5), e836. <https://doi.org/10.1002/wcc.836>
- McLeman, R., Schade, J., & Faist, T. (Eds.). (2016). *Environmental migration and social inequality* (Vol. 61). New York: Springer International Publishing. 240p.
- Mukherjee, M., & Fransen, S. (2024). Exploring migration decision-making and agricultural adaptation in the context of climate change: A systematic review. *World Development*, 179, 106600.
- Muluneh, M. G. (2021). Impact of climate change on biodiversity and food security: A global perspective—a review article.

- Agriculture & Food Security*, 10(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00318-5>
- Neumann, K., & Hermans, F. (2017). What drives human migration in Sahelian Countries? A meta-analysis. *Population, Space and Place*, 23(1), e1962.
- Rademacher-Schulz, C. (2014). The making of the social order—migration, resource and power conflicts in the Moroccan Draa Valley. *Erdkunde* 68(3), 173-183. <https://www.jstor.org/stable/24365230>
- Silchenko, D., & Murray, U. (2023). Migration and climate change—the role of social protection. *Climate Risk Management*, 39, 100472. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212096322000791>
- Szaboova, L., Adger, W. N., de Campos, R. S., Maharjan, A., Sakdapolrak, P., Sterly, H., ... & Abu, M. (2023). Evaluating migration as successful adaptation to climate change: Trade-offs in well-being, equity, and sustainability. *One Earth*, 6(6), 620-631. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2023.05.009>
- Tacoli, C. (2009). Crisis or adaptation? Migration and climate change in a context of high mobility. *Environment and Urbanization*, 21(2), 513-525. <https://doi.org/10.1177/0956247809342182>
- Tcha, M. (1995). Altruism, household size and migration. *Economics letters*, 49(4), 441-445.
- Wouterse, F., & Taylor, J. E. (2008). Migration and income diversification: Evidence from burkina faso. *World Development*, 36(4), 625-640.
- Zickgraf, C., Vigil Diaz Telenti, S., De Longueville, F., Ozer, P., & Gemenne, F. (2016). The impact of vulnerability and resilience to environmental changes on mobility patterns in West Africa. KNOMAD WORKING PAPER 14, 31p. <https://hdl.handle.net/2268/193650>



## Typologie des aménagements des bas-fonds rizicoles dans la vallée du Niger au Bénin

A. J. Adegandjou<sup>1</sup>, P. Gbenou<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Ecole Doctorale des Sciences Agronomiques et de l'Eau (EDSAE), Université Nationale d'Agriculture du Bénin,

<sup>2</sup>Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture du Bénin,

### RESUME

La vallée du Niger, au Nord-Est du Bénin, constitue une zone agroécologique stratégique pour le développement de la riziculture irriguée en raison de son fort potentiel en bas-fonds hydromorphes et de la diversité des systèmes d'aménagement rencontrés. Ces derniers constituent un potentiel important pour la riziculture. Cette étude vise à élaborer une typologie actualisée des aménagements des bas-fonds rizicoles dans cette vallée, en vue d'éclairer les politiques publiques. Ce travail a été conduit en décembre 2024 dans les Communes de Karimama et Malanville à partir d'un échantillonnage raisonné ayant permis d'inventorier 28 bas-fonds rizicoles aménagés couvrant 2 060 hectares. Les données ont été collectées à travers des entretiens semi-structurés, des observations directes, des questionnaires numériques et des relevés GPS, en s'intéressant aux dimensions agronomiques, hydrauliques, socioéconomiques et techniques. L'analyse a mobilisé des traitements statistiques descriptifs et multivariés, notamment l'analyse factorielle des correspondances multiples et une classification hiérarchique, afin de dégager une typologie des aménagements hydro-agricoles. Les résultats indiquent que la majorité des bas-fonds est intensivement exploitée pour la riziculture, avec une disponibilité en eau qui combine les eaux de pluie, les eaux de surface et les eaux souterraines (forage et puits tubés). Les systèmes d'aménagement observés sont classés en trois catégories : simples, mixtes et définitifs, avec une prédominance d'aménagements simples dépendant des inondations naturelles et de la réalisation de quelques puits tubés pour l'irrigation, ce qui limite la productivité. En revanche, à Malanville, les producteurs ont davantage recours à des systèmes d'aménagements mixtes et définitifs, avec une infrastructure d'irrigation plus développée (canaux d'irrigation, fossés de drainage), permettant un meilleur contrôle de l'eau et des rendements plus élevés. L'étude met en évidence la nécessité de repenser les modalités d'allocation des investissements publics en s'appuyant sur une logique de justice spatiale et d'équité territoriale, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour la planification agronomique et hydraulique dans les zones rurales vulnérables. Elle recommande également de poursuivre les recherches sur la rentabilité économique et la résilience des aménagements pour un développement durable de la riziculture dans cette zone à fort potentiel.

**Mots clés :** Riz, Aménagements, Bas-fond, Typologie, Vallée

### ABSTRACT

The Niger Valley, in northeastern Benin, constitutes a strategic agroecological zone for the development of irrigated rice cultivation due to its significant potential in hydromorphic lowlands and the diversity of existing development systems. These systems represent considerable potential for rice farming. This study aims to develop an updated typology of rice lowland development schemes in this valley to inform public policies. This work was conducted in December 2024 in the municipalities of Karimama and Malanville using a purposive sampling method, which allowed for the inventory of 28 developed rice lowlands covering 2,060 hectares. Data were collected through semi-structured interviews, direct observations, digital questionnaires, and GPS surveys, focusing on agronomic, hydraulic, socio-economic, and technical dimensions. The analysis involved descriptive and multivariate statistical processing, notably multiple correspondence analysis and hierarchical classification, to establish a typology of hydro-agricultural developments. The results indicate that the majority of lowlands are intensively exploited for rice cultivation, with water availability combining rainwater, surface water, and groundwater (boreholes and tube wells). The observed development systems are classified into three categories: simple, mixed, and permanent, with a predominance of simple schemes dependent on natural flooding and the construction of a few tube wells for irrigation, which limits productivity. In contrast, in Malanville, producers make greater use of mixed and permanent development systems, with more developed irrigation infrastructure (irrigation canals, drainage ditches), allowing for better water control and higher yields. The study highlights the need to rethink public investment allocation methods based on principles of spatial justice and territorial equity, thereby opening new perspectives for agronomic and hydraulic planning in vulnerable rural areas. It also recommends further research on the economic profitability and resilience of these developments for the sustainable development of rice cultivation in this high-potential area.

**Key words:** Rice, Developments, Lowland, Typology, Valley

Corresponding author: GBENOU Pascal,

Received in Apr 2025 and accepted in jun 2025

E-mail address: [gbenoup@gmail.com](mailto:gbenoup@gmail.com)

## 1. Introduction

En Afrique de l'Ouest, la riziculture occupe une place stratégique dans les politiques agricoles de développement, en tant que levier de sécurité alimentaire, de réduction de la pauvreté et de création d'emplois en milieu rural (Akakpo et al., 2020). Le Bénin, à l'instar de plusieurs pays de la sous-région, a inscrit la promotion de la filière riz dans ses priorités nationales, en raison de la croissance soutenue de la demande en riz et de la dépendance accrue aux importations (Adégbidi et al., 2021). Dans cette dynamique, les bas-fonds – zones hydromorphes localisées principalement dans les vallées fluviales et les cuvettes intérieures – constituent des espaces agricoles de grande valeur, offrant un potentiel significatif pour une intensification durable de la riziculture (Zossou et al., 2022).

Le potentiel des bas-fonds au Bénin est estimé à plus de 200 000 hectares, dont à peine 10% sont aménagés de manière structurée pour la riziculture, les autres étant exploités de manière empirique ou abandonnés en raison de contraintes hydriques et foncières (Houngnibo et al., 2021). Cette sous-exploitation s'explique par plusieurs facteurs : l'absence de politiques d'aménagement intégrées, la faible maîtrise de l'eau, la rareté des investissements durables et l'inadéquation entre les modèles techniques importés et les réalités agroécologiques locales (Yabi & Afouda, 2020). De surcroît, la gestion communautaire des ouvrages hydrauliques demeure problématique en raison du manque de formation des acteurs, de la faiblesse des dispositifs de maintenance, et des conflits liés à l'accès au foncier (Dossou & Houndekon, 2022).

Les types d'aménagements varient considérablement selon les zones agroécologiques, les ressources disponibles et les appuis institutionnels reçus. Ils vont des aménagements sommaires – tels que les diguettes ou les rigoles manuelles – aux infrastructures plus élaborées comme les périmètres irrigués avec maîtrise partielle ou totale de l'eau (Amoussou & Adjéoda, 2023). Cette diversité, bien que reflétant une certaine capacité d'innovation locale, pose la question de leur efficacité respective sur le plan agronomique, économique et environnemental. De nombreux aménagements sont construits sans étude préalable de faisabilité, ou sans accompagnement technique adéquat, ce qui compromet leur durabilité (Zannou & Hounnou, 2021).

La vallée du Niger au Bénin, représente un bassin rizicole à fort potentiel en raison de sa disponibilité en eau, de la fertilité relative des sols alluviaux, et des opportunités de développement hydro-agricole. Cependant, les connaissances sur les types d'aménagements effectivement en place y sont très limitées. Cette méconnaissance entrave la mise en œuvre de politiques ciblées et empêche une rationalisation des investissements publics et privés dans la région. En l'absence d'une typologie rigoureuse, il devient difficile d'objectiver les choix techniques, d'évaluer les performances comparées des systèmes et de proposer des modèles reproductibles à grande échelle (Akakpo et al., 2020 ; Houngnibo et al., 2021).

Ainsi, cette étude vise à combler ce vide en proposant une typologie actualisée des aménagements des bas-fonds rizicoles dans la vallée du Niger au Bénin.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Cadre géographique de l'étude

L'étude est menée dans la vallée du Niger, une zone agroécologique située au Nord-Est du Bénin, principalement dans les départements de l'Alibori et une partie du Borgou. Cette vallée constitue un axe fluvial

stratégique, longée par le fleuve Niger sur environ 150 kilomètres, et regroupant plusieurs Communes agricoles majeures telles que Karimama, Malanville, Ségbana et Kandi. Elle se distingue par une forte concentration de bas-fonds hydromorphes aux caractéristiques agroécologiques favorables à la riziculture irriguée (Yabi & Afouda, 2020).

L'étude s'est spécifiquement concentrée sur les Communes de Karimama et Malanville choisies pour raison de leur potentiel rizicole et de l'existence d'aménagements hydro-agricoles à analyser dans le cadre de cette recherche.

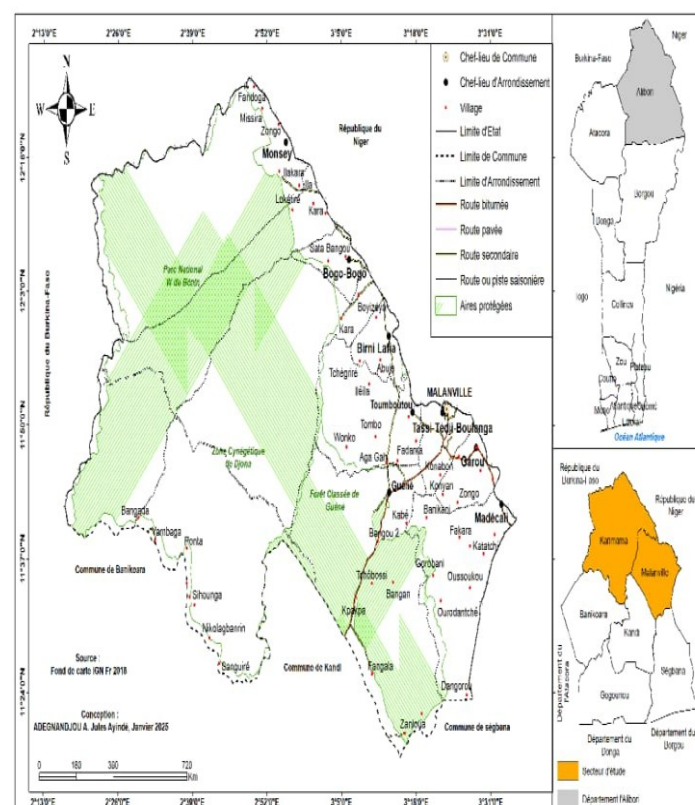


Figure 1 : Situation géographique de la zone d'étude

Sur le plan climatique, la région appartient à la zone soudanienne à tendance sahélienne, avec une saison pluvieuse courte allant de mai à septembre et une pluviométrie annuelle variant entre 700 et 1 100 mm (Adégbidi et al., 2021). Les températures moyennes annuelles oscillent entre 26 °C et 34 °C, avec un fort ensoleillement propice à la croissance des cultures en saison sèche si l'eau est disponible.

Les sols de la vallée sont majoritairement d'origine alluviale, riches en limons et en argiles, offrant une bonne rétention d'eau (source...). La population locale est essentiellement composée d'agriculteurs pratiquant une agriculture de subsistance, avec une spécialisation progressive vers la riziculture encouragée par les politiques de sécurité alimentaire (Zossou et al., 2022).

### 2.2. Collecte de données

#### 2.2.1. Méthode d'échantillonnage et critères de sélection des villages étudiés

L'enquête de terrain, menée en décembre 2024 dans les Communes de Karimama et Malanville, visait à documenter les caractéristiques des aménagements et des pratiques rizicoles associées aux bas-fonds. Un

échantillonnage raisonné a permis d'inventorier systématiquement les bas-fonds rizicoles aménagés effectivement exploités dans les villages ciblés.

La sélection des localités s'est faite en collaboration avec les Cellules Communales de l'Agence Territoriale de Développement Agricole (ATDA) du Pôle 1 et les représentants de la filière riz, selon trois critères :

- proximité avec le fleuve Niger ;
- présence de bas-fonds rizicoles (aménagés ou non) ;
- importance de la population agricole selon le dernier recensement national.

Ainsi, les villages de Bodjékali, Monkassa et Kotchi (Malanville), ainsi que Karimama 1, Birni-Lafia et Karigui (Karimama) ont été retenus. Au total, 28 bas-fonds aménagés ont été recensés, chaque site constituant une unité d'observation.

Pour chacun, le producteur principal a été interrogé à l'aide d'un formulaire structuré, collectant des données techniques, culturelles, socio-économiques et environnementales

### 2.2.2. Méthode d'analyse des données

L'analyse repose sur une démarche statistique et cartographique rigoureuse visant à caractériser les bas-fonds rizicoles aménagés de la vallée du Niger et à en dégager une typologie pertinente. Elle s'appuie sur des outils méthodologiques éprouvés et des logiciels spécialisés, en cohérence avec les standards reconnus dans la littérature scientifique.

### 2.3. Traitement des données

Les données ont été saisies et nettoyées sous STATA afin d'assurer leur structuration et la correction des doublons, valeurs aberrantes et données manquantes. Ce logiciel a permis le codage, le regroupement de modalités, les calculs de fréquences et les analyses statistiques (moyenne, écart-type, test t de Student). Les résultats ont ensuite été exportés vers Excel pour la production des tableaux.

#### 2.3.1. Revues empiriques pour l'élaboration d'une typologie dans les agro-hydrosystèmes

L'élaboration de typologies agricoles ou hydrauliques repose sur des méthodes empiriques combinant approches statistiques multivariées et techniques de classification. Dans le contexte des aménagements hydro-agricoles (AHA), les plus courantes sont l'Analyse en Composantes Principales (ACP), l'Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) et la Classification Hiérarchique Ascendante (CHA). Ces méthodes, comme le soulignent Lebart et *al.* (2006), réduisent la dimensionnalité tout en conservant l'essentiel de la variance, facilitant l'identification des variables structurantes.

L'AFCM est particulièrement adaptée aux études comme celle-ci, intégrant plusieurs variables qualitatives (source d'eau, type d'aménagement, mode de gestion, type de producteur). Elle permet de dégager des profils-types d'aménagements en structurant l'information hétérogène issue du terrain (Le Roux & Rouanet, 2010). La CHA, appliquée sur les axes factoriels (méthode de Ward), regroupe les objets en classes homogènes, simplifiant leur interprétation. La combinaison AFCM + CHA est d'ailleurs recommandée dans les études sur les AHA en Afrique de l'Ouest, notamment par Kamiri et *al.* (2018) et Dugué & Sissoko. (2020).

L'analyse a été menée avec le logiciel R et les packages FactoMineR et factoextra, afin d'identifier les logiques sous-jacentes d'organisation de l'espace agricole à partir des données collectées.

Cette méthode est une généralisation de l'Analyse Factorielle des Correspondances, permettant de décrire les relations entre  $p$  ( $p > 2$ ) variables simultanément observées sur  $n$  individus. Ainsi l'équation de l'AFCM s'écrit :

$$Y = f(X1, X2, \dots, Xn)$$

Où :

- **Y** : Typologie des bas-fonds (groupes distincts identifiés)
- **X1, X2,...,Xn** : Variables caractérisant les bas-fonds rizicoles.

#### 2.3.2. Choix et pondération des variables pour l'analyse typologique

La sélection des variables qualitatives utilisées pour l'AFCM a été fondée sur une revue croisée des travaux scientifiques précédents (RocheGude, 2007 ; Dugué et *al.*, 2020) et des données empiriques collectées sur le terrain dans la vallée du Niger.

Tableau 1 : Variables qualitatives utilisées pour l'AFCM.

| Variable                 | Définition                                                    | Modalités                                                                    | Justification scientifique                                                                                                |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Type d'aménagement       | Forme physique d'aménagement du bas-fond rizicole             | Radier, Casier, Digue, Non aménagé                                           | Conditionne l'infrastructure disponible et influence les pratiques culturelles (Kamiri et al., 2018 ; Dugué et al., 2020) |
| Source d'eau             | Origine principale de l'eau utilisée pour l'irrigation        | Eau de pluie, Forage, Barrage, Nappe phréatique                              | Détermine la disponibilité, la pérennité et la qualité de la ressource (RocheGude, 2007 ; FAO, 2015)                      |
| Canaux d'irrigation      | Présence et type de canaux d'irrigation ou de drainage        | Canaux primaires, secondaires, tertiaires, Absents                           | Affecte l'efficacité de l'irrigation et les rendements agricoles (Leite et al., 2021 ; FAO, 2011)                         |
| Mode de gestion de l'eau | Mode d'organisation des usagers pour la distribution de l'eau | Individuel, Collectif informel, Coopératif, Institutionnel (GIE, MAEP, etc.) | Influence la gouvernance locale et la durabilité des systèmes hydrauliques (Le Bars, 2014 ; Dugué et al., 2020)           |
| Type de producteur       | Profil socio-économique du producteur utilisant l'aménagement | Exploitant individuel, Membre coopérative, Locataire agricole                | Permet d'identifier les logiques d'appropriation et de pratiques culturelles (Dugué & Sissoko, 2020 ; CIRAD, 2019)        |

Source : Résultats enquête de terrain, 2024

Les variables ont été choisies pour leur pertinence par rapport à la problématique de la gestion de l'eau en agriculture irriguée : type d'aménagement (radier, digue, casier), source d'eau (pluviale, barrage, nappe), canaux d'irrigation (présence/absence, type), mode de gestion de l'eau (individuel, communautaire, institutionnel) et profil socio-économique du producteur (exploitant individuel, coopérative, producteur locataire). Ces variables, toutes qualitatives, ont été codées dans STATA, puis intégrées dans R pour l'AFCM. Le poids relatif de chaque variable a été estimé selon leur variance explicative sur les premiers axes factoriels. Cette approche permet de maximiser la contribution des variables discriminantes dans la structuration des profils de bas-fonds aménagés. Elle est conforme aux recommandations de Greenacre (2007) et Abdi & Valentin (2007), selon lesquelles l'AFCM est un outil robuste pour la typologisation dans les systèmes agraires complexes.

2.3.3. Cartographie et spatialisation

Les coordonnées géographiques des bas-fonds ont été intégrées dans ArcGIS Pro 3.1 pour produire des cartes de distribution spatiale des types d'AHA. Ces représentations cartographiques complètent l'analyse typologique en visualisant la répartition géographique des aménagements selon leur profil typologique.

3. Résultats

3.1. Inventaire des bas-fonds dans la vallée du Niger au Bénin

L'inventaire a permis de recenser 28 bas-fonds totalisant une superficie de 2 060 ha dans la Vallée du Niger au Bénin, répartis entre les Communes de Malanville (17 bas-fonds, soit 60,71%) et de Karimama (11 bas-fonds, soit 39,28%) (Figure 2).

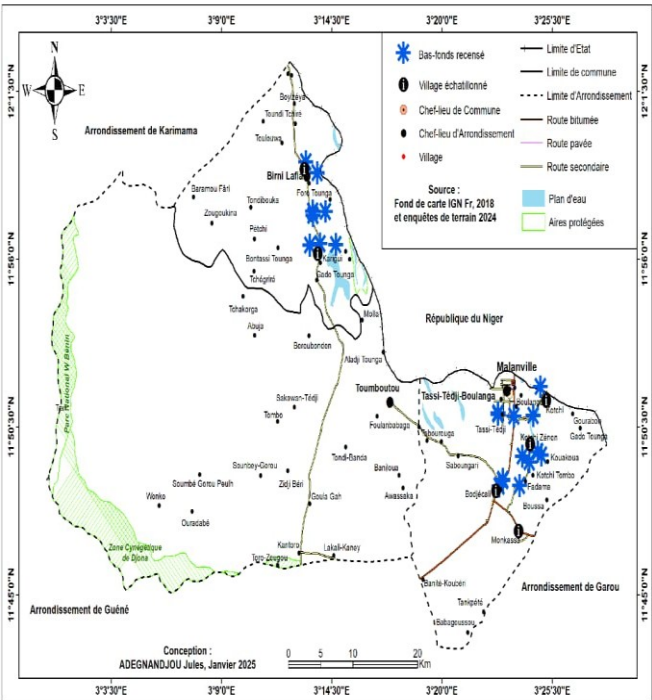


Figure 2 : Situation géographique des aménagements de bas-fonds rizicoles dans la vallée du Niger au Bénin

Cette répartition spatiale met en évidence une concentration relativement plus importante des zones humides agricoles dans la Commune de Malanville, suggérant une meilleure disponibilité foncière

ou un effort d'aménagement plus prononcé dans cette localité. Toutefois, la superficie moyenne aménagée par bas-fond reste comparable entre les deux Communes : 65,17 ha à Karimama contre 56,88 ha à Malanville. Le test t de Student ( $t = 0,603$  ;  $ddl = 26$  ;  $p = 0,552$ ) confirme que cette différence n'est pas statistiquement significative, indiquant une homogénéité relative dans l'effort d'aménagement par bas-fond entre les deux Communes, malgré la différence apparente dans le nombre total de bas-fonds recensés.

Par ailleurs, l'étude révèle que 81,80 % de la superficie totale des bas-fonds identifiés sont aménagés pour la riziculture, avec une prédominance dans la Commune de Malanville (46,94 % contre 34,85 % à Karimama). Ce taux d'aménagement élevé témoigne de l'importance stratégique de ces zones pour la production vivrière, notamment du riz, culture à fort enjeu de sécurité alimentaire. En effet, 96,26 % de la superficie aménagée est effectivement mise en valeur pour la culture du riz, ce qui traduit une utilisation intensive et ciblée de ces terres de bas-fonds. Ce niveau d'exploitation est révélateur d'une dynamique agricole centrée sur la riziculture irriguée, fortement dépendante de la disponibilité en eau et des infrastructures d'aménagement.

L'analyse de la main-d'œuvre agricole montre une différence significative dans l'effectif moyen de producteurs de riz par bas-fond entre les deux Communes : 232,64 à Karimama contre 131,41 à Malanville. Cette différence, confirmée par le test t de Student ( $t = 2,481$  ;  $ddl = 26$  ;  $p = 0,020$ ), suggère une pression foncière plus élevée ou une structuration sociale différente à Karimama, où les exploitants semblent plus nombreux à partager un même espace aménagé. L'écart-type plus élevé à Karimama (124,611 contre 73,219 à Malanville) reflète aussi une plus grande variabilité des effectifs, potentiellement liée à des disparités dans l'attractivité ou l'accessibilité des bas-fonds selon les localités. Cette situation pourrait avoir des implications sur la durabilité des systèmes de production, la gestion collective des ressources en eau, et les dynamiques foncières dans ces zones.

Le tableau 2 résume les paramètres d'identification des bas-fonds dans la Vallée du Niger au Bénin.

Tableau 2 : Identification des bas-fonds dans la vallée du Niger au Bénin

| Caractéristiques                                          | Modalités                      | Karimama (%)       | Malanville (%)    | Ensemble (%)  |                                           |
|-----------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|---------------|-------------------------------------------|
| Inventaire des bas-fonds (nombre)                         |                                | 39,28 (11)         | 60,71 (17)        | 100,00 (28)   |                                           |
| Superficie des bas-fonds inventoriés (ha)                 |                                | 47,09 (970)        | 52,91 (1090)      | 100,00 (2060) |                                           |
| Superficie de bas-fonds aménagés pour le riz (ha)         | Superficie totale aménagée     | 34,85 (718)        | 46,94 (967)       | 81,80 (1685)  | t de Student = 0,603; ddl = 26; p = 0,552 |
|                                                           | Moyenne de superficie aménagée | 65,17 (± 25,004)   | 56,88 (± 41,347)  |               |                                           |
| Superficie mise en valeur pour la culture du riz (ha)     |                                | 40,06 (675)        | 56,20 (947)       | 96,26 (1622)  |                                           |
|                                                           |                                |                    |                   |               |                                           |
|                                                           |                                |                    |                   |               |                                           |
| Effectif moyen de producteurs riz exploitants un bas-fond | Moyenne                        | 232,64 (± 124,611) | 131,41 (± 73,219) | 171           | t de Student = 2,481; ddl = 26; p = 0,020 |
|                                                           |                                |                    |                   |               |                                           |

### 3.2. Caractérisation des bas-fonds dans la vallée du Niger au Bénin

Les résultats montrent que tous les bas-fonds étudiés dépendent de l'eau de pluie comme source primaire d'alimentation au regard de leur configuration topographique favorable à la collecte des eaux de ruissellement. Toutefois, une proportion élevée de producteurs (85,71 %) indique également utiliser l'eau souterraine, via des forages et puits tubés dont le niveau statique de l'eau se trouve entre 10 et 20 m de profondeur (Orou Pete Alou et *al.*, 2021). Cela traduit une stratégie d'adaptation aux variabilités climatiques, permettant de prolonger la saison culturale ou d'irriguer en saison sèche. En revanche, la contribution du Fleuve Niger et de l'affluent Sota reste marginale (14,29 %) et se fait remarquer majoritairement dans la Commune de Malanville, ce qui peut s'expliquer par la distance des bas-fonds aux cours d'eau, les coûts élevés de pompage, ou le manque d'infrastructure (canaux d'alimentation, motopompes, etc.).

Grâce à la présence de ces sources d'eau et aux aménagements réalisés, la grande majorité des bas-fonds (93 %) bénéficient d'une disponibilité annuelle en eau, ce qui représente une opportunité stratégique pour la riziculture intensive ou double culture.

Pour les producteurs enquêtés, cette disponibilité est saisonnière seulement au niveau de 7 % des bas-fonds inventoriés. Ce qui souligne néanmoins que certaines zones restent vulnérables aux aléas climatiques, et que des investissements ciblés sont encore nécessaires pour garantir l'accès à l'eau toute l'année, notamment à Karimama.

Les analyses *in situ* réalisées indiquent que les eaux d'irrigation dans les bas-fonds inventoriés sont à apparence de bonne qualité. Elles sont de couleur claire et limpide et ne présentent ni d'odeur particulière, ni de goût particulier.

Les sols des bas-fonds de la vallée du Niger au Bénin étudiés sont argileux et à dominance peu profonds (Tahirou et *al.*, 2022). Ces sols sont en général limités en matière organique (teneur moyenne chez 67,86 % de bas-fonds étudiés contre faible chez 32,14 % de bas-fonds) et nutriment (Azontonde et *al.*, 2016).

Les sols des bas-fonds étudiés sont généralement (53,57 %) plus ou moins poreux, ce qui garantit un bon drainage.

Les paramètres de caractérisation des bas-fonds dans la vallée du Niger au Bénin sont résumés dans le tableau 3.

Tableau 3 : Caractérisation des bas-fonds dans la vallée du Niger au Bénin

| Variables                                             | Modalités                            | Karimama (%) | Malanville (%) | Ensemble (%) |
|-------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------|----------------|--------------|
| Source principale d'alimentation en eau des bas-fonds | Eau de pluie                         | 39,29 (11)   | 60,71 (17)     | 100,00 (28)  |
|                                                       | Fleuve Niger et affluent Sota        | 0,00 (0)     | 14,29 (4)      | 14,29 (4)    |
|                                                       | Eau souterraine (Forage / Puit tubé) | 39,29 (11)   | 46,43 (13)     | 85,71 (24)   |
| Disponibilité de l'eau pour l'irrigation              | Saisonnière                          | 3,57 (1)     | 3,57 (1)       | 7,00 (2)     |
|                                                       | Toute l'année                        | 35,71 (10)   | 57,14 (16)     | 93,00 (26)   |
| Qualité de l'eau pour l'irrigation                    | Bonne                                | 32,14 (9)    | 50,00 (14)     | 82,14 (23)   |
|                                                       | Moyenne                              | 7,14 (2)     | 10,71 (3)      | 17,85 (5)    |
| Types de sols dominants                               | Argile                               | 39,29 (11)   | 60,71 (17)     | 100,00 (28)  |
| Profondeur des sols des bas-fonds                     | Peu profond                          | 32,14 (9)    | 28,57 (8)      | 60,71 (17)   |
|                                                       | Profond                              | 7,14 (2)     | 32,14 (9)      | 39,29 (11)   |
| Teneur en matière organique des sols des bas-fonds    | Faible                               | 3,57%        | 28,57 (8)      | 32,14 (9)    |
|                                                       | Moyen                                | 35,71 (10)   | 32,14 (9)      | 67,86 (19)   |
| Capacité de drainage des sols des bas-fonds           | Bon                                  | 17,86 (5)    | 35,71 (10)     | 53,57 (15)   |
|                                                       | Moyen                                | 21,43 (6)    | 25,00 (7)      | 46,43 (13)   |

### 3.3. Typologie des bas-fonds aménagés dans la vallée du Niger au Bénin

Dans la vallée du Niger au Bénin, les enquêtes de terrain ont permis d'identifier une diversité de types d'aménagements hydroagricoles des bas-fonds rizicoles. Au total, vingt-huit (28) bas-fonds ont été inventoriés et classés selon trois grandes catégories techniques d'aménagement : i) Les aménagements simples ou sommaires, caractérisés par l'installation de diguettes de rétention et de cloisonnement rudimentaires, sans dispositif structuré de maîtrise de l'eau ; ii) Les aménagements mixtes, intégrant une combinaison de digues d'amortissement, de collecteurs latéraux, d'un chenal central d'évacuation et d'un réseau de diguettes, permettant une gestion partielle de l'eau à partir de forages ou puits tubés équipés de pompe immergée d'une motopompe ; et iii) Les aménagements définitifs, disposant de digues d'amortissement solides, de collecteurs latéraux, d'un chenal central en béton, des stations de pompage installées au fil de l'eau du fleuve Niger et ses rivières affluentes (Sota et Alibori), de casiers rizicoles bien délimités et garantissant une maîtrise totale de l'eau.

Sur l'ensemble des bas-fonds inventoriés : 16 bas-fonds (57,14 %) présentent des aménagements simples ou sommaires ; 6 bas-fonds (21,43 %) relèvent d'aménagements mixtes ; et 6 bas-fonds (21,43 %) sont dotés d'aménagements définitifs.

La répartition spatiale de ces typologies d'aménagement révèle une nette disparité entre les deux principales Communes concernées. Dans la Commune de Karimama, la majorité des bas-fonds (63,64 %) dispose

uniquement d'aménagements simples, ne permettant pas une gestion efficace de l'eau. Aucun bas-fond n'y bénéficie d'un aménagement définitif. En revanche, la Commune de Malanville concentre l'ensemble des six (6) bas-fonds aménagés de manière définitive, ce qui représente 35,29 % des bas-fonds recensés dans cette localité. Toutefois, une part importante (52,94 %) des bas-fonds de Malanville reste encore sous aménagements simples, montrant qu'il existe encore des marges de progression dans la modernisation des infrastructures hydroagricoles.

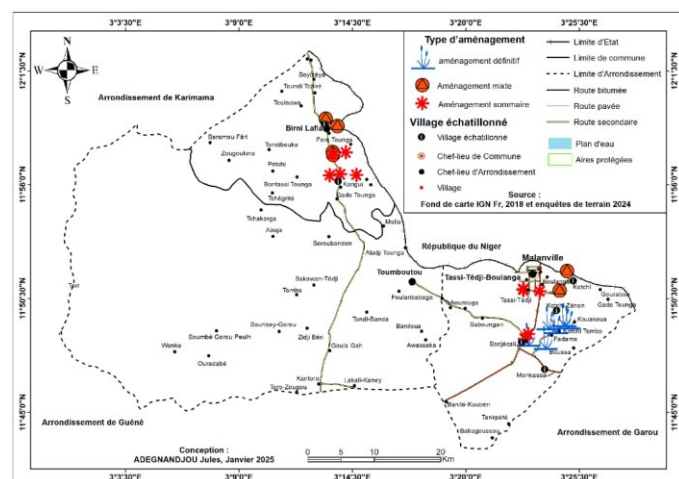


Figure 2 : Répartition spatiale des types d'aménagements de bas-fonds rizi­coles dans la Vallée du Niger au Bénin

La typologie des aménagements des bas-fonds rizi­coles dans la vallée du Niger au Bénin est établie au moyen d'un dendrogramme issu d'une classification hiérarchique, appliquée aux résultats d'une Analyse Factorielle des Correspondances Multiples (AFCM) réalisée sous R.

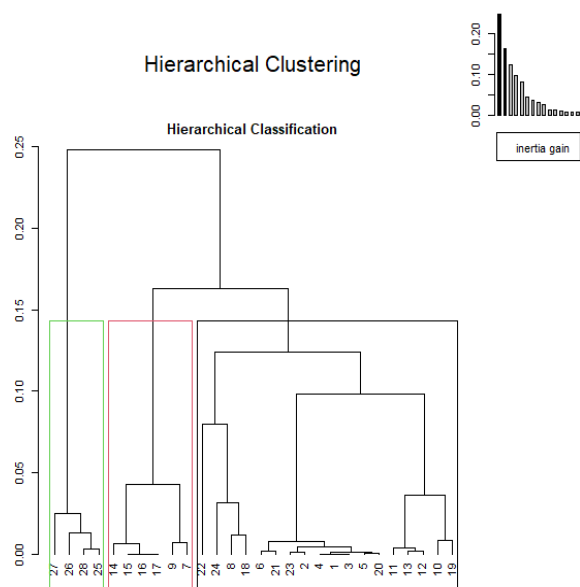


Figure 3 : Classification hiérarchique de l'AFCM

L'analyse du dendrogramme montre la formation de plusieurs groupes distincts, comme l'indiquent les encadrements colorés (vert, rouge et noir). Ces regroupements reflètent des types d'aménagements ayant des caractéristiques Communes, que ce soit en termes de maîtrise de l'eau, d'organisation foncière ou de pratiques culturelles. Le petit histogramme en haut à droite illustre l'inertie gagnée à chaque fusion, indiquant l'importance de chaque regroupement dans la structuration des données.

Un seuil de coupure adapté permettrait d'identifier un nombre optimal de clusters et de définir des catégories pertinentes d'aménagements.

Quant à la répartition spatiale des trois typologies d'aménagements identifiées dans la vallée du Niger au Bénin.

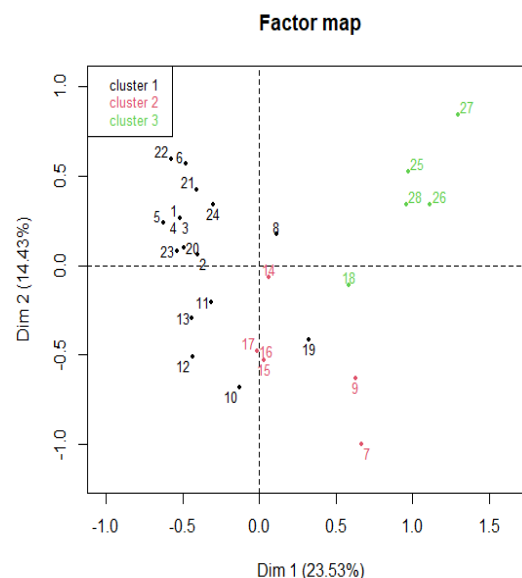


Figure 4 : Carte factorielle des variables caractérisant les aménagements des bas-fonds rizi­coles

On en retient que le Groupe 1 (Aménagements simples ou sommaires), représenté en noir et qui occupe principalement la partie droite du graphique, se caractérise par une gestion individuelle. Ces aménagements sont exploités par des producteurs individuels utilisant des engrais chimiques et pratiquant l'irrigation, sans canaux d'irrigation formels. Ces sites permettent la production pendant la saison sèche grâce à la réalisation des puits tubés où l'eau pompée est étalée à l'intérieur des parcelles rizi­coles. Par contre le Groupe 2 (Aménagements mixtes), identifié en rose/rouge et situé en position intermédiaire sur le graphique, représente une transition entre les pratiques traditionnelles et modernisées. En effet, ces aménagements se distinguent par l'utilisation conjointe d'engrais chimiques et organiques, permettant une culture continue toute l'année avec des systèmes d'irrigation combinés à l'exploitation des eaux pluviales. Ces sites accueillent à la fois des producteurs individuels et organisés en coopératives, et bénéficient de sols profonds. Leur position médiane sur le graphique illustre bien leur caractère hybride entre pratiques traditionnelles et modernes. Enfin, le Groupe 3 (Aménagements définitifs), visualisé en vert et concentré dans la partie gauche du graphique, représente les systèmes les plus structurés et modernisés. Ces aménagements sont caractérisés par une infrastructure plus développée incluant des canaux d'irrigation établis, une gestion communautaire de l'eau et un pompage au fil d'une rivière comme source principale d'alimentation en eau. Ces sites présentent des niveaux moyens de matière organique et permettent la culture rizi­cole tout au long de l'année. Leur position distincte à gauche du graphique reflète leur niveau plus élevé d'organisation collective et d'infrastructures.

Les facteurs structurants qui différencient les trois groupes d'aménagements précédemment identifiés se fondent sur une organisation des variables selon un gradient Est-Ouest (axe horizontal)

qui reflète la progression depuis les aménagements traditionnels vers les aménagements plus modernes et structurés (Figure 6).

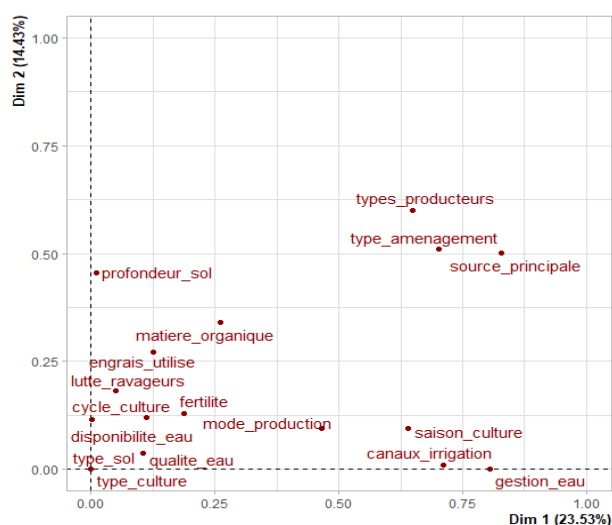


Figure 5 : Carte factorielle des variables caractérisant les aménagements des bas-fonds

En effet, on trouve les variables caractéristiques des aménagements plus modernes (Groupe 3) à droite du graphique de la figure 5 telles que : "type\_aménagement", "source\_principale", "canaux\_irrigation", "gestion\_eau" et "types\_producteurs". Ces variables, situées aux valeurs positives de Dim 1, sont associées aux aménagements structurés avec une gestion communautaire de l'eau, des infrastructures d'irrigation développées et une organisation formelle des producteurs. Au centre et proche de l'origine, on trouve des variables liées aux pratiques agricoles et à la qualité des sites de bas-fonds que sont "matiere\_organique", "engrais\_utilise", "fertilité", "mode\_production", "type\_sol" et "qualite\_eau". La position de ces variables suggère qu'elles discriminent moins fortement les groupes d'aménagements ou qu'elles sont communes à plusieurs types d'aménagements, notamment pour les Groupes 1 et 2. À l'extrême gauche, on retrouve les variables comme "profondeur\_sol", "disponibilite\_eau", "cycle\_culture" et "lutte\_ravageurs", qui semblent davantage caractériser les aménagements traditionnels (Groupe 1), reflétant une approche plus individualisée de la gestion des bas-fonds. La variable "saison\_culture" se situe dans le quadrant inférieur droit, ce qui la relie aux aménagements permettant une exploitation tout au long de l'année (caractéristique partagée par les Groupes 2 et 3). Cette représentation des variables permet de confirmer l'interprétation précédente des trois groupes d'aménagements et de comprendre plus précisément les facteurs qui les différencient. L'axe principal (Dim 1) semble principalement structuré par le degré d'aménagement et le mode de gestion (individuel versus communautaire), tandis que l'axe vertical (Dim 2) semble davantage lié à des aspects techniques et agronomiques comme le type de producteurs et les caractéristiques du sol.

## 4. Discussion

### 4.1. Inventaire et répartition des bas-fonds aménagés

L'inventaire révèle une nette concentration des bas-fonds aménagés à Malanville (17 sur 28), soit plus de 60 % des bas-fonds recensés, contre seulement 11 à Karimama. Cette disparité s'explique par une combinaison de facteurs socio-économiques, environnementaux et institutionnels. Selon Bationo et al. (2020), la performance des

aménagements dans les zones rurales d'Afrique de l'Ouest dépend fortement de la structuration des organisations paysannes et de leur accès au financement. À Malanville, la forte organisation coopérative, soutenue par une dynamique d'encadrement agricole plus marquée, a favorisé l'investissement dans des infrastructures hydroagricoles durables.

Les résultats de Kounouhewa et al. (2022) confirment que la présence de projets de développement successifs comme le PSAIA, le PSAAB, le PADA, le PAPVIRE ABC, le PADER, etc. a eu un effet multiplicateur sur la densité et la qualité des aménagements à Malanville. En revanche, Karimama, moins ciblée par ces projets, reste à la marge des grands investissements agricoles.

La différence dans les conditions d'accessibilité, d'organisation communautaire et de couverture institutionnelle traduit une inégalité structurelle dans l'accès aux ressources et aux opportunités agricoles. Selon Tossou et Amoussou (2021), ces inégalités territoriales dans les investissements publics en milieu rural contribuent à creuser les écarts de productivité et de résilience entre les Communes.

Enfin, HLPE (2023) insiste sur l'importance d'une gouvernance territoriale équitable dans la gestion des ressources naturelles, en particulier dans les zones à forte dépendance agricole. Il est donc urgent de développer des politiques différenciées pour combler les déséquilibres intercommunaux en matière d'aménagement hydroagricole.

### 4.2. Caractéristiques agronomiques et hydrologiques des bas-fonds

L'analyse des caractéristiques agronomiques et hydrologiques montre que la majorité des bas-fonds disposent d'une alimentation en eau pluviale (pluie, eaux souterraines, eaux de ruissellement et eaux de surface), mais que la gestion de cette ressource varie d'une Commune à l'autre. À Malanville, la mobilisation des forages et des eaux du fleuve Niger et ses affluents (Sota et l'Alibori) est plus fréquente et structurée, contrairement à Karimama où les exploitants dépendent principalement des précipitations et des puits tubés, rendant la production plus vulnérable aux aléas climatiques. Selon Diouf et al. (2019), les systèmes pluviaux en zone sahélienne présentent une forte instabilité liée aux variations interannuelles de la pluviométrie. Ces constats sont corroborés par Adjomayi et al. (2021), qui observent que dans les zones de riziculture semi-aride, l'absence de maîtrise de l'eau réduit les rendements de 30 à 50% par rapport aux systèmes irrigués.

La nature des sols constitue également un facteur déterminant. Les deux Communes présentent majoritairement des sols argileux, adaptés à la riziculture, mais les taux de matière organique sont sensiblement plus faibles à Karimama (inférieurs à 2 %), ce qui indique une dégradation avancée liée à une agriculture extensive. Les zones agroécologiques de l'extrême Nord-Bénin et cotonnière du Nord Bénin sont dégradées sur les plans chimique, physique et biologique, les limitations sévères étant observées en matière organique et nutriment (Azontonde et al., 2016). Bourguignon et al. (2022) soulignent que cette baisse de fertilité limite la productivité et accroît la dépendance aux intrants chimiques.

De plus, Idrissou et al. (2023) plaident pour une gestion agroécologique intégrée de la fertilité des bas-fonds, basée sur le compostage, la rotation culturale et la couverture végétale, afin de renforcer la résilience des sols dans les systèmes irrigués en Afrique de l'Ouest.

La mise en œuvre de politiques d'accompagnement technique et de formation des producteurs sur les bonnes pratiques agroécologiques

s'avère donc essentielle pour garantir une exploitation durable des ressources naturelles.

#### **4.3. Typologie des systèmes d'aménagement hydroagricole**

L'analyse typologique distingue trois grandes catégories d'aménagements hydroagricoles : simple, mixte et définitifs. À Karimama, les aménagements simples dominent, caractérisés par une absence de maîtrise de l'eau, une faible efficacité technique et une grande exposition aux aléas. Ces types d'aménagements sont souvent autogérés, à faible coût, mais ils offrent des rendements faibles et instables, comme le confirme Ahouangansi et *al.* (2024) dans leur étude sur la performance des systèmes agricoles semi-intensifs dans l'Atacora. À l'inverse, les aménagements définitifs, majoritairement situés à Malanville, permettent une maîtrise plus fine des intrants hydriques et une productivité accrue. Ils nécessitent cependant un encadrement fort, une maintenance régulière et un système de gouvernance collective. Zinsou et *al.* (2022) précisent que l'efficacité de ces aménagements repose sur l'existence de comités de gestion fonctionnels et sur la coordination entre les acteurs publics et privés.

La transition vers des aménagements plus performants passe par l'adoption d'innovations technologiques (digues filtrantes, motopompes, barrages de retenue) et un accompagnement renforcé des exploitants. Djalou et *al.* (2023) notent que les innovations low-tech comme les fossés d'infiltration ou les pompes solaires améliorent l'efficacité hydrique tout en réduisant la dépendance aux énergies fossiles.

Enfin, FAO (2023) souligne que la durabilité des systèmes d'aménagement dépend de leur intégration dans des stratégies locales, combinant ingénierie, finance rurale, renforcement institutionnel et équité d'accès.

Ainsi, pour réussir la transition agronomique et hydraulique, il est nécessaire d'adopter une approche inclusive, multisectorielle et participative, tenant compte des capacités locales, des vulnérabilités sociales et des contraintes environnementales spécifiques à chaque territoire.

#### **4.4. Apports scientifiques et théoriques**

Cette étude apporte une contribution significative à la compréhension des systèmes agronomiques hydrologiques et écologiques en contexte sahélien, en proposant une typologie opérationnelle des bas-fonds rizicoles fondée sur l'analyse croisée de variables physiques (topographie, disponibilité en eau), techniques (type d'aménagement), socio-économiques (organisation des producteurs, accès au crédit) et institutionnelles (présence de projets, dispositifs de soutien). En intégrant ces dimensions, elle dépasse les approches strictement techniques ou agronomiques pour offrir une grille de lecture systémique et contextualisée, adaptée aux dynamiques territoriales du Niger béninois. Cette approche permet d'identifier des leviers de transformation différenciés selon les types d'aménagements, facilitant ainsi l'élaboration de politiques publiques ciblées et adaptées.

Sur le plan théorique, l'étude met en évidence l'importance d'une gouvernance locale inclusive et territorialisée dans la gestion durable des ressources en eau et des infrastructures agricoles. Elle rejoint les recommandations des cadres de gouvernance collaborative (HLPE, 2023), qui prônent l'implication des acteurs locaux, la reconnaissance des savoirs paysans et la coordination interinstitutionnelle comme conditions de durabilité. En soulignant les inégalités d'accès aux

ressources et aux opportunités d'aménagement entre Communes, cette recherche appelle à repenser les modalités d'allocation des investissements publics en s'appuyant sur une logique de justice spatiale et d'équité territoriale, ouvrant ainsi de nouvelles perspectives pour la planification agronomique et hydraulique dans les zones rurales vulnérables.

#### **4.5. Limites de l'étude et perspectives de recherche**

Malgré la richesse des données collectées, cette étude présente certaines limites relatives d'une part, à l'absence de base de données sur le potentiel de bas-fonds disponibles dans la vallée du Niger au Bénin pour confronter le recensement systématique des bas-fonds réalisé dans le cadre de ces travaux de recherche et d'autre part aux données climatiques et hydrologiques qui n'ont pas été directement mesurées sur le terrain.

Une perspective de recherche future pourrait s'intéresser à la rentabilité économique et à la résilience environnementale de chacun des types d'aménagements identifiés, afin d'orienter les choix d'investissement public et privé sur des bases plus rationnelles. Par ailleurs, il serait pertinent d'examiner les dynamiques de transformation institutionnelle autour de la gouvernance des ressources partagées, notamment dans le contexte des changements climatiques.

#### **4.6. Implications pratiques pour les acteurs du développement**

Les résultats de cette étude offrent plusieurs implications pratiques majeures pour les acteurs du développement (collectivités locales, ONG, projets agricoles, services déconcentrés de l'État, bailleurs). Premièrement, la typologie des aménagements identifiée peut servir d'outil de planification ciblée, permettant d'adapter les interventions techniques, financières et institutionnelles aux réalités spécifiques de chaque type de bas-fond.

Deuxièmement, l'étude met en lumière la nécessité de renforcer l'accompagnement des producteurs dans les zones marginalisées comme Karimama, en y orientant les investissements publics et en favorisant l'émergence de coopératives agricoles structurées.

Troisièmement, les disparités d'accès à l'eau et à la fertilité des sols appellent à la mise en œuvre de programmes intégrés de gestion durable (irrigation, agroécologie, conservation des sols) portés par des cadres multi-acteurs.

Enfin, les acteurs doivent promouvoir des approches de gouvernance participative et inclusive, favorisant l'implication des communautés locales dans les choix d'aménagement et dans la gestion des ressources, afin de renforcer l'appropriation et la durabilité des actions entreprises.

### **5. Conclusion**

Les différentes analyses réalisées sur les aménagements des bas-fonds rizicoles dans la vallée du Niger au Bénin ont permis d'identifier trois typologies distinctes, chacune caractérisée par des pratiques agricoles, des modes de gestion et des infrastructures spécifiques. Ces typologies traduisent un gradient d'évolution allant des systèmes traditionnels individuels vers des dispositifs communautaires plus structurés et modernes. En ce sens, cette typologie peut être utilisée pour concevoir des politiques agricoles plus adaptées aux réalités locales, en favorisant une montée en gamme progressive des systèmes traditionnels vers des systèmes plus résilients et productifs, sans ignorer les contraintes

écologiques, institutionnelles et socio-économiques spécifiques à chaque territoire.

Une recommandation stratégique forte émerge : l'élaboration et la mise en œuvre d'une politique publique nationale intégrée d'aménagement et de gestion durable des bas-fonds, adossée à une typologie fonctionnelle et participative, apparaît indispensable pour maximiser les retombées économiques et sociales de la riziculture irriguée dans la vallée du Niger au Bénin. Cette politique devrait inclure un dispositif de financement différencié, une ingénierie territoriale adaptée et un cadre de gouvernance multi-niveaux, mobilisant à la fois les collectivités locales, les organisations paysannes et les services de l'État.

## Références bibliographiques

- Adégbidi, A., & Gounsé, J. D. (1996). *Structure, conduite et performance du marché du porc local au Sud-Bénin*. Faculté des Sciences Agronomiques – Université Nationale du Bénin, Série d'Économie et de Sociologie Rurale n°20.
- Akakpo, A. D. R. (2011). *Caractérisation agro-morphologique de riz Oryza spp. du Bénin*. Thèse d'ingénieur agronome, Université d'Abomey-Calavi, Bénin.
- Amoussou, A., & Adjéoda, A. (2023). Analyse des effets des changements climatiques sur les moyens d'existence durables des producteurs de riz et stratégies d'adaptation au nord Bénin. *Agronomie Africaine*, 34(1), 21-32.
- Azontondé, H. A., Igué, A. M., Dagbénonbakin G. (2016). La carte de fertilité des sols du Bénin par zone agroécologique du Bénin. Rapport final. Dépôt légal n°9045 du 21/11/2016, 4<sup>ème</sup> trimestre 2016. Bibliothèque Nationale du Bénin. ISBN : 978-99919-2-607-0.
- Bationo, A., Houssou, N., & Koussoubé, E. (2020). *Structuration des coopératives agricoles et accès au crédit rural en Afrique de l'Ouest*. Revue Économie Rurale, 2020(1), 77–90.
- Bourguignon, L., & Bourguignon, C. (2022). *Stratégies paysannes de gestion de la fertilité des sols autour des bas-fonds*. African Journal of Land Policy and Geospatial Sciences, 5(1).
- CIRAD. (2019). *Typologies des producteurs dans les aménagements rizicoles en Afrique de l'Ouest*. Montpellier : CIRAD.
- Diouf, M., Badiane, O., & Sané, M. (2019). *Variabilité climatique et stratégies d'adaptation des riziculteurs en Basse-Casamance*. VertigO - la revue électronique en sciences de l'environnement, 19(1).
- Dossou, J. P., & Houndekon, V. A. (2022). Impact des stratégies d'adaptation au changement climatique sur la production rizicole au Bénin. *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 20(3), 163-172.
- Dugué, P., & Sissoko, F. (2020). *Dynamiques agraires et durabilité des aménagements hydro-agricoles en Afrique de l'Ouest*. Montpellier: CIRAD.
- FAO. (2011). *The state of the world's land and water resources for food and agriculture (SOLAW) – Managing systems at risk*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2015). *Irrigation techniques for small-scale farmers: Key practices for DRR implementers*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO. (2023). *Water Infrastructure at the 43rd Session of FAO Conference*. Rome: FAO.
- HLPE. (2023). *Réduction des inégalités au service de la sécurité alimentaire et de la nutrition*. Rome: HLPE-FSN du CSA.
- Houngnibo, C., & Dossou, J. P. (2021). Efficacité technique et rentabilité financière de la production de semences de riz : cas du périmètre irrigué de Koussin-Lélé dans la Commune de Covè au Bénin. *Revue Africaine d'Agriculture et de Développement Durable*, 21(2), 45-58.
- Kamiri, H. M., Mutambara, J., & Makurira, H. (2018). Typology of smallholder irrigation schemes and their performance in sub-Saharan Africa. *Irrigation and Drainage Systems Engineering*, 7(1), 1–10.
- Lebart, L., Piron, M., & Morineau, A. (2006). Statistique exploratoire multidimensionnelle : visualisation et inférences en fouilles de données. Paris : Dunod, 464 p. (Sciences Sup : Cours). ISBN 2-10-049616-6.
- Le Bars, M. (2014). Gestion de l'eau agricole et gouvernance locale en Afrique de l'Ouest : entre pratiques communautaires et régulation étatique. *Revue Tiers Monde*, 218(2), 55–74.
- Leite, J. F., Silva, E. S., & Costa, A. G. (2021). Performance of irrigation canals in smallholder rice schemes. *Agricultural Water Management*, 243, 106461.
- Orou Pete Alou, G. S., Gbewezoun, H. G. V., Alassane Zakari, A., Alassane, A., Lawin, A. E., Mama, D., & Boukari, M. (2021). Caractérisation De L'aquifère Superficiel Du Bassin Sédimentaire De Kandi (Nord-Est Bénin, Afrique Ouest): Nature Et Structure Du Reservoir, Hydrodynamique. *European Scientific Journal*, ESJ, 17(3), 79.
- Rochegeude, A. (2007). *L'accès à l'eau en Afrique rurale : entre droit, légitimités et pratiques*. Paris : IRD Éditions.
- Tahirou, S., Zerbo, P., Ouattara, S., & Ado, M. N. (2022). Caractérisation des paramètres physico-chimiques du sol de la zone rizicole de Saga (Niamey) dans la vallée du fleuve Niger. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 16(2): 842-854. ISSN 1997-342X (Online), ISSN 1991-8631 (Print). Yabi, J. A., & Afouda, Y. (2020). Typologie des stratégies d'adaptation développées en riziculture au Bénin ainsi que les déterminants. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 112-125.
- Zannou, A., & Hounnou, F. E. (2021). Influence du changement climatique sur le rendement des cultures vivrières au Bénin. *Journal of Agricultural Science*, 13(1), 45-60.

Zossou, E., & Zoundji, G. C. (2022). Déterminants socio-économiques du changement des pratiques dans la plateforme de chaîne de valeur du riz étuvé à Malanville, Bénin. *European Scientific Journal*, 18(10), 140-157.



National University of Agriculture

## Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture (STSA)

ISSN: 1659-5726 (Online) 1659-634X (Print) <https://www.stsa.una.bj/index.php/st>

VOLUME 4 N° 1 (ORIGINAL ARTICLE)

## Spatio-temporal analysis of knowledge on the linkage between urban green spaces and climate change

Godonou Étienne Romaric Adéwalé<sup>1</sup>, Yevide Sedami Igor Armand<sup>2</sup>, Gbesso Gbodja Houéhanou François<sup>3\*</sup>, Wolo Leila Syntiche<sup>3</sup>, Gbaguidi Ahonankpon Hubert Frédéric<sup>4</sup>, Loubegnon Olou Toussaint<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Unité de Recherche Horticole et d'Aménagement des Espaces Verts, Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, École d'Horticulture et d'Aménagement des Espaces Verts, Université Nationale d'Agriculture, P.O. Box 43, Kétou, Bénin.

<sup>2</sup> Unité de Recherche en Foresterie et Conservation des BioRessources, Laboratoire de Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, École de Foresterie Tropicale, Université Nationale d'Agriculture, P.O. Box 43, Kétou, Bénin.

<sup>3</sup> Faculté d'Agronomie, Université de Parakou

<sup>4</sup> Laboratoire des Géosciences et Applications (LAGEA), Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques (Bénin)

## Abstract

This bibliometric analysis explores the temporal and geographical spread of literature on Climate Change and Urban Green Spaces based on the Scopus database. The information was processed with Microsoft Excel 2020, ArcMap, Gephi, and Bibliometrix package using Biblioshiny in R Studio. Findings indicate that there were earliest science papers pertaining to the subject since 2001. There were 1,274 publications, mainly articles, which were processed, and there were 31,135 citations, indicating high research interest. Some of the most highly productive journals are Sustainability, Urban Forestry and Urban Greening, and Science of the Total Environment. Wide international collaboration is also reported, with high productivity from countries such as China, the United States, Italy, Germany, and the United Kingdom, indicating the global reach and growing interest this field of study has gained. However, in spite of this growth, there are still large gaps to be filled particularly in less-represented regions such as Africa and Latin America. Future research should look to include urban green space quality in climate and health impact evaluations, as well as cross-validate remote-sensing-based urban planning software through field-based case deployments. Heightening international collaboration is also recommended in order to facilitate fair knowledge creation and use.

**Keywords:** Urban green spaces, climate change, bibliometric analysis, international collaboration, scientific publications.

Corresponding author: Gbesso Gbodja Houéhanou François,

Received in Apr 2025 and accepted in June 2025

E-mail address: [fr.gbesso@gmail.com](mailto:fr.gbesso@gmail.com)

## 1. Introduction

The 21st century is marked by a colossal challenge: climate change. With soaring temperatures, extreme weather events, and the relentless rise of sea levels, its damaging impact is already visible and continues to threaten our planet and its future. Given this emergency, the search for sustainable and adaptable solutions to strengthen the resilience of cities became an absolute necessity. To address this challenge, the United Nations' Sustainable Development Goals (UNSDGs) for cities (No. 11) mandates that cities and human settlements be inclusive, safe, resilient, and sustainable (Gelan and Girma, 2021; Singh, 2023). The programmes also call for providing universal access to green spaces to reduce the environmental impact of cities (Gelan and Girma, 2021). It is in this context that cities are transforming into oases, offering a refuge from the climate storm (Addas and Maghrabi, 2021; Nero et al., 2017; Zhao et al., 2023).

To fight back climate change, urban planners are armed with innovative solutions and powerful tools to harness the full potential of green spaces and combat this scourge (Mees and Driessen, 2011). Energy-efficient buildings, smart infrastructure, development and enhancement of green spaces, contribute to climate change mitigation and adaptation (Jones et

al., 2024; Lovell and Taylor, 2013; Valença Pinto et al., 2023; Vásquez et al., 2019). These solutions prove to be formidable weapons, making a significant contribution to urban quality of life (Hidalgo-García and Rezapouraghdam, 2023; Kistemann et al., 2023; Pancewicz and Kurianowicz, 2024). They help reduce climate change's harmful effects through measures such as reducing energy consumption, evaporative cooling, and increasing urban albedo (Cheela et al., 2021; Sun et al. 2019). Well-managed and vegetated Urban Green Spaces (UGS) have been shown to absorb and store more carbon and balance CO<sub>2</sub> emissions (Dorendorf et al., 2015; Kitha and Lyth, 2011). Moreover, urban vegetation could sequester and absorb a considerable amount of CO<sub>2</sub> compared to natural forests. For instance, a scientific study revealed that the average aboveground biomass (AGB) in urban areas in the United States was  $89 \pm 22$  Mg C ha<sup>-1</sup>, which was higher than the average of 53.5 Mg C ha<sup>-1</sup> for all forests in the country (Hutyra et al., 2011). Therefore, even smaller proportions of UGS in the urban environment could have a significant effect on urban ecosystem services (Dearborn and Kark, 2010). UGS also provide shade, cool temperatures (Baldauf and Reis, 2010; Reis and Lopes, 2019), and considerably reduce urban heat (Dearborn and Kark, 2010). Scientific studies examine and indicate that UGS regulate the climate, purifies

the air, and recycles nutrients. Other studies, on the associations between violent crime, the magnitude of urban heat islands, and UGS in Australia, indicate significantly lower rates of violent crime in areas with a higher percentage of urban vegetation (Stevens et al., 2024).

From New York to Beijing, *via* Milan and Hong Kong, numerous cities have already integrated UGS into their climate management policy. In the United States, for instance, UGS have become a priority in decision-making in New York, Washington DC, Chicago, and Philadelphia (Nowak 2006). In Europe, cities like Milan, Mirandola (Modena), Catania, and Turin are making of UGS a central element of their urban sustainability (Baycan-Levent and Nijkamp, 2009; Donato et al. 2021; Sanesi et al., 2018). In Asia, UGS projects have been developed in Hong Kong, Beijing, and the Pukou District of Nanjing. Despite the creation of green spaces in densely populated urban areas facing climate challenges, the existence of innovative policies and solutions, the availability of review studies, significant gaps remain. These gaps hinder the development of effective mitigation strategies to combat climate change in cities due to the lack of reliable and accessible data on green spaces and climate change in our cities. For instance, in a systematic review, bibliometric methods were used to analyze and quantitatively examine 276 articles published in the Web of Science and Scopus databases between 1977 and 2023 (Dong et al., 2023). Information on the influencing factors, design methods, and benefits of pocket parks, which are small public green spaces, was provided. The findings indicate the development of an increasing number of these green spaces in various forms in countries like China and the United States. Similarly, other studies solely explore institutional actions to develop green infrastructure as an alternative to combating climate change in Latin American cities (Vásquez et al., 2019). The analysis focused on identifying these institutions, and their objectives, and understanding and using the concept of green infrastructure. Additionally, Zhang and Han (2021) also conducted a review of 32 English and 33 Chinese articles to summarize the definition of pocket parks, research locations, research topics, and trends. They compared the similarities and differences between Chinese and English articles. Kerishnan and Maruthaveeran (2021), on the other hand, examined 15 articles to summarize the factors that drive urban residents to use pocket parks. These studies provide interpretations and analyses of the literature, but the current body of knowledge lacks comprehensive research on the relationships between green spaces and climate change through the lens of bibliometric analysis at a broader scale. This is crucial to enable policymakers, practitioners, and other stakeholders to gain a better understanding of this subject for informed decision-making to mitigate this climate storm on cities.

As cities expand and climate challenges intensify, a key question emerges: can Urban Green Spaces significantly mitigate climate change impacts? While local studies suggest a positive role, large-scale bibliometric analysis is needed to validate these findings. Therefore, this study aims to conduct a spatial and temporal analysis of scientific knowledge to visualize the evolution of research and highlight patterns of collaboration. Specifically, this analysis seeks to:

- i) understand how research on UGS and climate change has evolved over time;
- ii) identify countries or regions leading in this research field;
- iii) uncover key international collaborations driving knowledge production; and

iv) reveal geographical disparities in the generation and application of scientific knowledge.

## 2. Methodology

### 2.1. Data collection

Bibliometric analysis, depending on its objective, can be conducted using various platforms or repositories that provide access to scientific publications and citation indexes. Among the most widely used databases are Web of Science and Scopus. Given the significant overlap between the two databases and the relatively easier access to Scopus, the current bibliometric analysis was conducted using the Scopus database alone.

The following keywords were used in the search: “urban,” “green,” “space,” and “climate change,” combined as follows: "urban" AND "green" AND "space" AND "climate change". The search was limited to occurrences of these terms in the title, abstract, or keywords of publications. Since most scientific publications are in English—and even those in other languages usually include an English title, abstract, and keywords—the search was conducted using English terms only. The search was performed on 14 February 2024. No subject area restrictions were applied to the search in order to capture a broad and representative sample, given the interdisciplinary nature of the topic.

### 2.2. Data cleansing

The Scopus search returned 1,311 documents of various types. Initial data cleaning was conducted using Microsoft Excel 2020, where string-matching functions were applied to identify and automatically remove some duplicate entries. To further ensure data quality, a manual review of all documents was carried out to eliminate remaining duplicates and irrelevant records.

In total, 37 documents were removed from the dataset, including 6 duplicates (0.46%), 15 books (1.14%), and 16 conference reviews (1.22%) lacking author information. After cleaning, 1,274 documents remained and were included in the analysis. While it is common in bibliometric studies to restrict the dataset to journal articles and reviews, all remaining documents were retained in this study due to the increasing trend of peer review for book chapters, conference papers, and other formats. The final dataset consisted of 873 journal articles (68.52%), 94 reviews (7.38%), 122 book chapters (9.58%), 170 conference papers (13.34%), and 15 other document types (1.18%)—including data papers (2), editorials (4), letters (1), notes (7), and short surveys (1).

### 2.3. Data analysis

The temporal distribution of publications and citations over time was analyzed and visualized using Microsoft Excel 2020.

To assess the spatial distribution of research output, authors' country affiliations were extracted from the dataset. Only documents with complete affiliation information were used for this part of the analysis. Spatial analysis was conducted in ArcGIS version 10.4, using the global geopolitical boundaries layer from the FAO's Geospatial Data Portal (Geospatial Information for Sustainable Food Systems).

Content analysis was performed using Microsoft Excel 2020 and the Bibliometrix R package (version 4.1.4) via the Biblioshiny interface. This open-source tool enables comprehensive analysis and visualization of scientific literature. Its integration with R provides extensibility and

regular updates supported by a large user community (Aria and Cuccurullo, 2017). Its cost-free access also makes it an attractive alternative to more expensive or subscription-based software (Guler et al., 2016). Extensive documentation and learning resources further support its effective use in bibliometric research and data visualization.

Social network analysis was conducted using Gephi version 0.9 to explore research collaboration networks. Gephi was selected for its flexibility in handling network complexity and producing high-quality visualizations. Two main types of collaboration networks were constructed: author-country networks and author-author networks. In these networks, nodes represent either countries or authors, and edges represent co-authored publications. The strength of each edge corresponds to the number of co-authored papers. Following standard bibliometric practice, publications from England, Northern Ireland, Scotland, and Wales were grouped under “United Kingdom” (Liu et al., 2011; Yevide et al., 2016).

The number of authors, institutional affiliations, and countries associated with each publication were also extracted to assess collaboration patterns across individuals, institutions, and national boundaries.

### 3. Results

#### 3.1. Document types and languages of scientific publications on urban green space and climate change

A total of 1,274 scientific documents constituted the final dataset for analysis. Journal articles dominated the corpus (873; 68.52%), followed by conference papers (170; 13.34%), book chapters (122; 9.58%), and reviews (94; 7.38%). Less common document types included notes (7), editorials (4), data papers (2), and one publication each categorized as a letter and a short survey.

These publications were written in 14 different languages. Articles were available in 13 languages, while non-article documents were published in only 3 languages (Table 1). Czech was exclusively used for conference papers (3), and alongside Czech, only English and Spanish were used for non-article types.

English overwhelmingly dominated the publication language (95.3%), regardless of document type. Chinese (2.04%), German (0.86%), Spanish (0.47%), and French (0.24%) followed but were used far less frequently. While the single Croatian article received no citations, French, Italian, Polish, Russian, and Slovak articles received only one or two citations each. English and Hungarian publications had the highest impact, as measured by average citations per publication and per year.

Notably, conference papers published in Czech and Spanish had received no citations, while those in English amassed 1,244 citations an average of 4.1 citations per conference paper.

Table 1. Number and impact of scientific production per language and document type.

| Document types | Languages | Number of publications | Percentages (%) | Total citations | Citations per publication | Average citation per publication |
|----------------|-----------|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|
|----------------|-----------|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|----------------------------------|

Citation trends showed considerable fluctuations up to 2020 with six notable peaks, the most significant of which occurred in 2015. Over the 23-year period, articles accumulated a total of 31,135 citations,

|                      |            |      |             |       | per year |      |
|----------------------|------------|------|-------------|-------|----------|------|
| Articles and reviews |            | 967  | 75.9 ; 100  | 31135 | 32.2     | 5.32 |
|                      | Chinese    | 26   | 2 ; 2.7     | 116   | 4.5      | 1.41 |
|                      | Croatian   | 1    | 0.1 ; 0.1   | 0     | 0.0      | 0.00 |
|                      | English    | 911  | 71.5 ; 94.2 | 30940 | 34.0     | 5.59 |
|                      | French     | 3    | 0.2 ; 0.3   | 2     | 0.7      | 0.07 |
|                      | German     | 11   | 0.9 ; 1.1   | 18    | 1.6      | 0.31 |
|                      | Hungarian  | 1    | 0.1 ; 0.1   | 14    | 14.0     | 3.50 |
|                      | Italian    | 1    | 0.1 ; 0.1   | 1     | 1.0      | 1.00 |
|                      | Persian    | 2    | 0.2 ; 0.2   | 7     | 3.5      | 0.44 |
|                      | Polish     | 2    | 0.2 ; 0.2   | 1     | 0.5      | 0.06 |
|                      | Portuguese | 1    | 0.1 ; 0.1   | 3     | 3.0      | 1.00 |
|                      | Russian    | 2    | 0.2 ; 0.2   | 1     | 0.5      | 0.13 |
|                      | Slovak     | 1    | 0.1 ; 0.1   | 2     | 2.0      | 0.29 |
|                      | Spanish    | 5    | 0.4 ; 0.5   | 30    | 6.0      | 0.63 |
| Others               |            | 307  | 24.1 ; 100  | 1244  | 4.1      | 0.82 |
|                      | Czech      | 3    | 0.2 ; 1.0   | 0     | 0.0      | 0.00 |
|                      | English    | 303  | 23.8 ; 98.7 | 1244  | 4.1      | 0.83 |
|                      | Spanish    | 1    | 0.1 ; 0.3   | 0     | 0.0      | 0.00 |
| Total                |            | 1274 | 100 ; 100   | 32379 | 25.4     | 4.23 |

NB: For the column on percentage, for each cell, the first number represents the percentage calculated considering the total number of scientific productions (1,274), and the second considers the total number of documents for the corresponding group of document types.

#### 3.2 Evolution and impacts of scientific productions on Urban Green Space and Climate Change

The analysis of the evolution of scientific literature on Urban Green Spaces (UGS) and climate change reveals a generally upward trend in publications since the first two appeared in 2001. However, growth was uneven in the early years, with no articles published in 2002, 2003, and 2008. Between 2001 and 2008, a total of 14 publications including 9 articles were produced, generating 786 citations, which corresponds to an average of 87.33 citations per publication.

The first non-article document (a conference paper) was published in 2003, followed by two more in 2007, including one book chapter that received 20 citations. Two additional book chapters were published in 2008, one of which was cited nine times.

After 2008, there was consistent and steady growth in the number of scientific publications across all document types, continuing until 2018. For journal articles specifically, growth was relatively modest during the four-year period from 2015 to 2018. Two publication peaks occurred during this phase first in 2011, and again in 2017 both marked by a significant number of conference papers and book chapters.

Following 2018, publication outputs increased exponentially, averaging 153 publications per year for all document types combined, and 117 articles per year. The highest number of publications was recorded in 2023.

averaging 32.2 citations per year and 5.32 citations per publication per year.

In contrast, the 307 documents classified as other types (conference papers, book chapters, editorials, etc.) received a total of 1,244 citations resulting in a lower impact: an average of 4.1 citations per publication and less than one citation per publication per year (0.82).

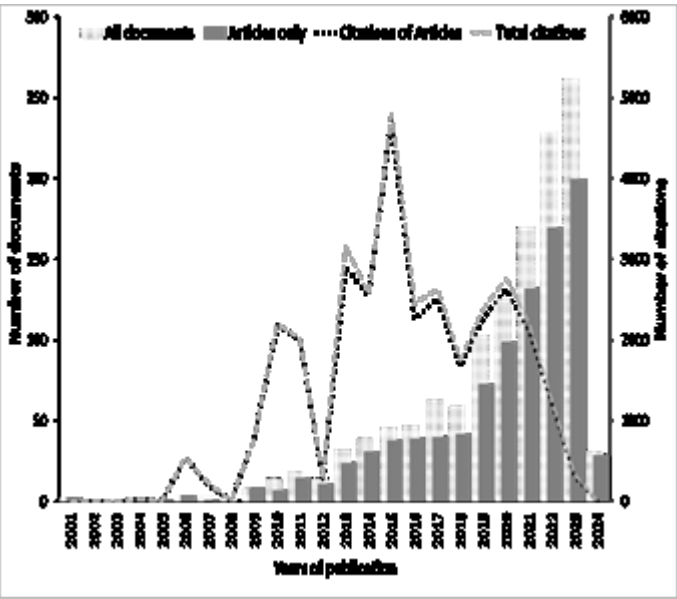


Figure 1. Evolution of scientific productions and total citation count from 2001 to 2024.

3.3. The most productive and influential journals

The total of 967 articles and reviews published on the studied topic encompass 401 journals out of which, 282 have published a single publication, 56, 23, 8, and 32 journals have published 2, 3, 4, and more than 4 publications respectively. The latter group has published 472 publications representing 48.81% of the total published articles. Among this group of journals that published more than 4 articles, *Sustainability*, having an impact factor of 3.9 was the most productive journal with 74 publications, followed by *Urban Forestry and Urban Greening* and *Science of the Total Environment* which recorded 49 and 35 publications respectively (Table 2). The most productive and most influential journal was *Landscape and Urban Planning* with an impact factor of 9.1. Indeed, apart from being among the top 5 most productive journals, *Landscape and Urban Planning* has a good impact factor, the highest number of citations (4,906), and is ranked eighth in terms of number of citations per publication, but first in terms of number of citations per publication per year. The highest number of citations per publication (1,454) was recorded by *Lancet* which has the highest impact factor (168.9) in the list of the sources that published articles on UGS and climate change.

|                                                                   |    |      |      |        |        |      |
|-------------------------------------------------------------------|----|------|------|--------|--------|------|
| Forestry and Urban Greening                                       |    |      |      |        |        |      |
| Science of the Total Environment                                  | 35 | 3.62 | 1830 | 52.29  | 354.01 | 9.8  |
| Land                                                              | 28 | 2.90 | 158  | 5.64   | 68.95  | -    |
| Landscape and Urban Planning                                      | 24 | 2.48 | 4906 | 204.42 | 522.25 | 9.1  |
| Sustainable Cities and Society                                    | 23 | 2.38 | 891  | 38.74  | 282.68 | 11.7 |
| International Journal of Environmental Research and Public Health | 20 | 2.07 | 245  | 12.25  | 61.22  | -    |
| Remote Sensing                                                    | 16 | 1.65 | 188  | 11.75  | 51.09  | 5    |
| Journal of Environmental Management                               | 15 | 1.55 | 858  | 57.20  | 155.80 | 8.7  |
| Forests                                                           | 14 | 1.45 | 167  | 11.93  | 37.48  | 2.9  |
| Cities                                                            | 12 | 1.24 | 404  | 33.67  | 59.43  | -    |
| Shengtai Xuebao                                                   | 12 | 1.24 | 116  | 9.67   | 19.02  | -    |
| Journal of Cleaner Production                                     | 11 | 1.14 | 422  | 38.36  | 106.73 | 11.1 |
| Environment International                                         | 10 | 1.03 | 583  | 58.30  | 113.71 | 11.8 |
| Frontiers in Sustainable Cities                                   | 10 | 1.03 | 38   | 3.80   | 15.00  | -    |
| Urban Climate                                                     | 10 | 1.03 | 286  | 28.60  | 50.16  | 6.4  |
| Building and Environment                                          | 9  | 0.93 | 723  | 80.33  | 87.19  | 7.4  |
| Urban Planning                                                    | 9  | 0.93 | 46   | 5.11   | 14.18  | -    |
| Atmosphere                                                        | 8  | 0.83 | 57   | 7.13   | 18.36  | 2.9  |
| Ecological Indicators                                             | 8  | 0.83 | 449  | 56.13  | 71.21  | 6.9  |
| Environmental Science and Policy                                  | 7  | 0.72 | 105  | 15.00  | 26.58  | -    |
| Frontiers in Environmental Science                                | 7  | 0.72 | 37   | 5.29   | 17.75  | 4.6  |
| Land Use Policy                                                   | 7  | 0.72 | 510  | 72.86  | 104.28 | -    |
| Water (Switzerland)                                               | 7  | 0.72 | 26   | 3.71   | 16.50  | 3.4  |
| WIT Transactions on Ecology and the Environment                   | 7  | 0.72 | 10   | 1.43   | 1.53   | -    |
| Energies                                                          | 6  | 0.62 | 51   | 8.50   | 11.73  | 3.2  |
| Environment, Development and Sustainability                       | 6  | 0.62 | 79   | 13.17  | 16.21  | -    |
| Environmental Research                                            | 6  | 0.62 | 715  | 119.17 | 112.25 | 8.3  |
| Environmental Research Letters                                    | 6  | 0.62 | 228  | 38.00  | 48.80  | 6.7  |
| Urban Ecosystems                                                  | 6  | 0.62 | 140  | 23.33  | 26.85  | 2.9  |
| Journal of Hydrology                                              | 5  | 0.52 | 131  | 26.20  | 43.33  | 6.4  |
| Sustainable Mediterranean Construction                            | 5  | 0.52 | 0    | 0.00   | 0.00   | -    |

Table 2. List of the most active sources and their impacts

| Sources                      | Number of publications | Percentage of publication | Total citations | TC/P  | TC/P/Y | Impact factors |
|------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------|-------|--------|----------------|
| Sustainability (Switzerland) | 74                     | 7.65                      | 971             | 13.12 | 225.92 | 3.9            |
| Urban                        | 49                     | 5.07                      | 1685            | 34.39 | 344.33 | -              |

3.4. Spatial characteristics of knowledge distribution on UGS and climate change

The results of the spatial analysis suggest that 87 countries worldwide were involved in scientific productions in regard to UGS and climate

change regardless of the type of document. Among them, 40 countries including 4 from Africa (Benin, Egypt, Ghana, and Nigeria) contributed both for the publication of articles and non-article type of documents. Among the remaining 47 countries 4, all non-African countries (Barbados, Ecuador, Mongolia, and Nepal), were involved only in the production of non-article documents while 43, with 10 from the African continent, published only articles. Germany (102, 6.5%) in Europe, China (176, 11.1%) in Asia, Australia (216, 13.7%) in Oceania, United States (146, 9.2%) in North America, and South Africa (14, 0.9%) in Africa, were the most productive countries per continent as regard to publication of articles (Figure 2). While similarly for Australia in Oceania, and United States in North America, Italy in Europe and India in Asia were the countries that published most of the non-article documents. From 2001 to the first months of 2024, all document types combined, United States, China, Germany, Italy, and the United Kingdom were the most productive countries with more than 100 published scientific productions. They were followed by Australia, India, and Spain with scientific productions ranging from 51 to 100. Most of the contributions from African countries were below 25 and almost two third of the countries did not contribute to UGS and climate change publications with no country from Central Africa (Figure 3).

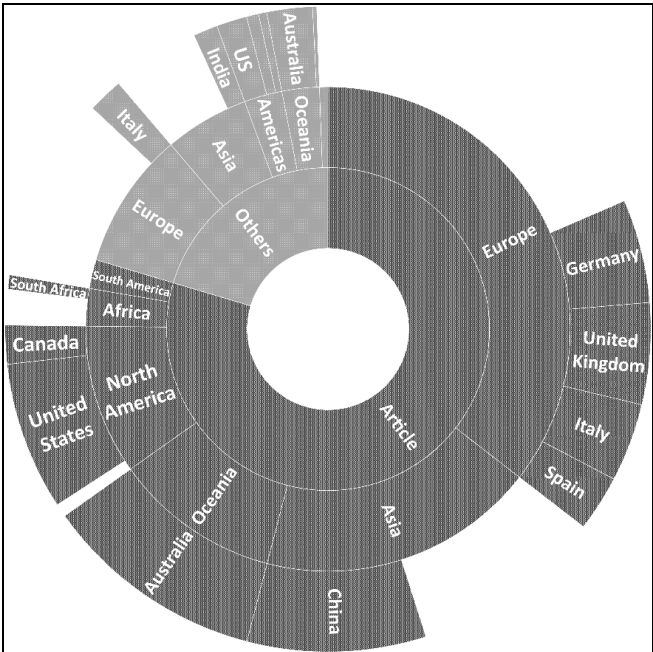


Figure 2. Contribution of continents and their most productive countries in publication on UGS and CC per types of documents.

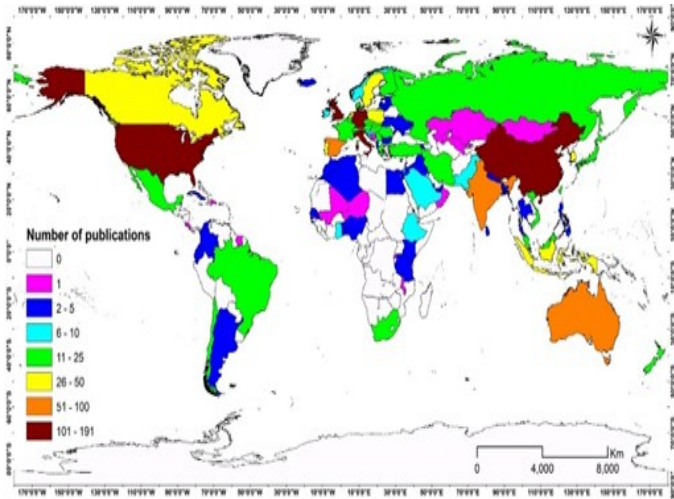


Figure 3. Spatial distribution of scientific productions worldwide.

3.5. Analysis of collaboration between authors, authors' countries, and institutions

From the first publication on UGS and climate change in 2001 through early 2024, 4,312 authors contributed to 1,120 co-authored publications. In addition, 154 publications (12.09%) were authored by a single individual, including 27 book chapters and 34 conference papers. Across all co-authored works, a total of 18,510 collaboration links (edges) were identified, forming a network composed of numerous isolated sub-networks (Figure 4a). When limiting the analysis to journal articles only, 3,556 authors were involved, generating 16,539 collaboration links (Figure 4d). To analyze the strength of collaboration, edges formed by a single co-authored publication were removed. This filtering left 738 edges among 404 authors across all document types (Figure 4b) and 656 edges among 333 authors for articles only (Figure 4e). Further narrowing to collaborations with at least three co-authored publications produced a final network of 52 authors for all document types. The strongest and most prominent collaboration cluster was formed by Zhang S, Liu Z, Dong W, and Liu X (Figure 4c). For journal articles alone, the final network included 42 authors and 32 edges, distributed across 16 smaller, isolated networks (Figure 4f). Compared to the article-only network, the full-document-type network contained five additional two-author clusters. Four of these clusters involved authors who had published both articles and non-article documents, allowing them to meet the inclusion threshold of three publications. One cluster involved a pair who had co-authored three conference papers exclusively (Figure 4c, red-colored nodes). Regarding collaboration among authors' countries, 930 publications (73.0%) were produced by authors affiliated with a single country. China (123), the United States (89), Italy (83), Germany (60), and the United Kingdom (55) led in single-country publications across both articles and non-article types. The remaining publications involved international collaborations and formed a network of 88 countries connected by 549 edges (Figure 5a). The United Kingdom occupied a central position in the collaboration network, with strong links with Spain, Germany, and Italy (Figure 5c). However, the United States and China had the single strongest bilateral collaboration, with 25 co-authored publications. The largest collaboration networks were led by the United Kingdom (connected to 30 countries), Germany (26), the United States (25), and

China (21) (Figures 6a–6d). South Africa was the only African country integrated into multiple large networks, maintaining collaborations with at least two of these global leaders (Figure 6e). Other African countries such as Ghana, Nigeria, Kenya, and Egypt were connected to either the United States, Germany, or Japan. In contrast, Benin and Togo appeared isolated from the main international network (Figure 6f).

To assess collaboration between institutions, a summary table was created showing the number of authors, institutions, and countries per publication. It revealed that only about 10% of all publications were authored without collaboration across individuals, institutions, or national borders (Table 3).

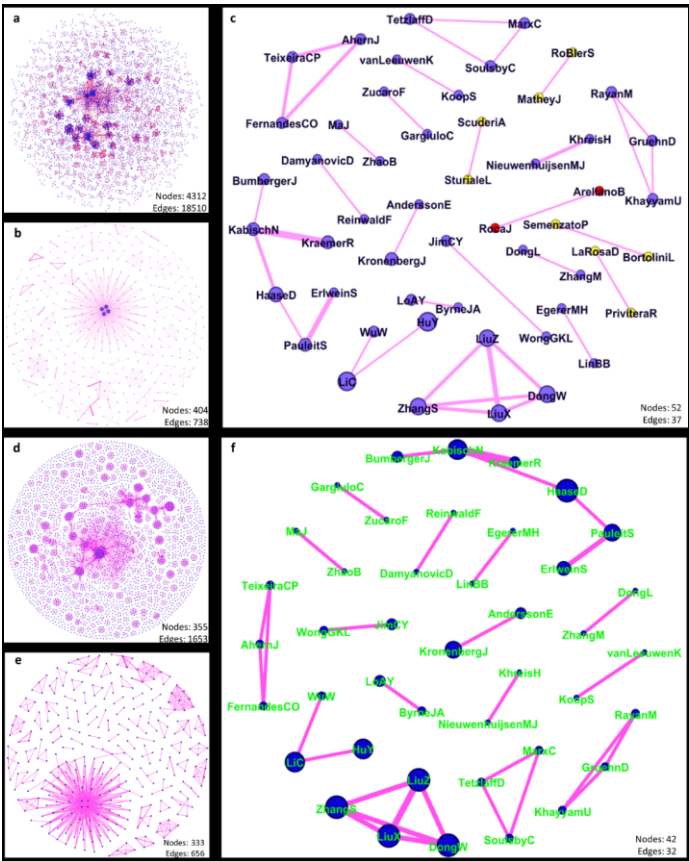


Figure 4. Social networks of collaboration between authors regardless of the number of scientific productions published together (a), with a minimum of two scientific productions published together (b), with a minimum of three scientific productions published together (c), regardless of the number of articles published together (d), with a minimum of two articles published together (e), with a minimum of three articles published together (f).

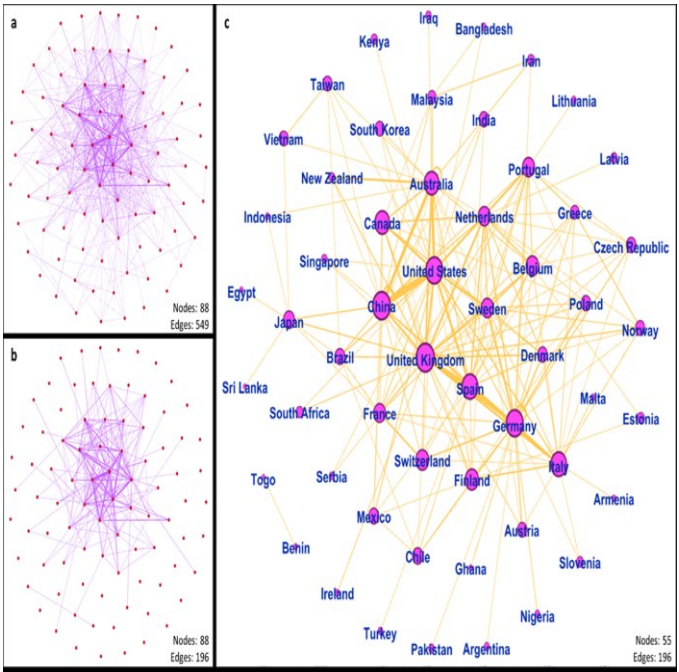


Figure 5. Social networks of collaboration between authors' countries regardless of the number of publications published together (a), with only one publication edges removed (b), with a minimum of two publications published together (c).

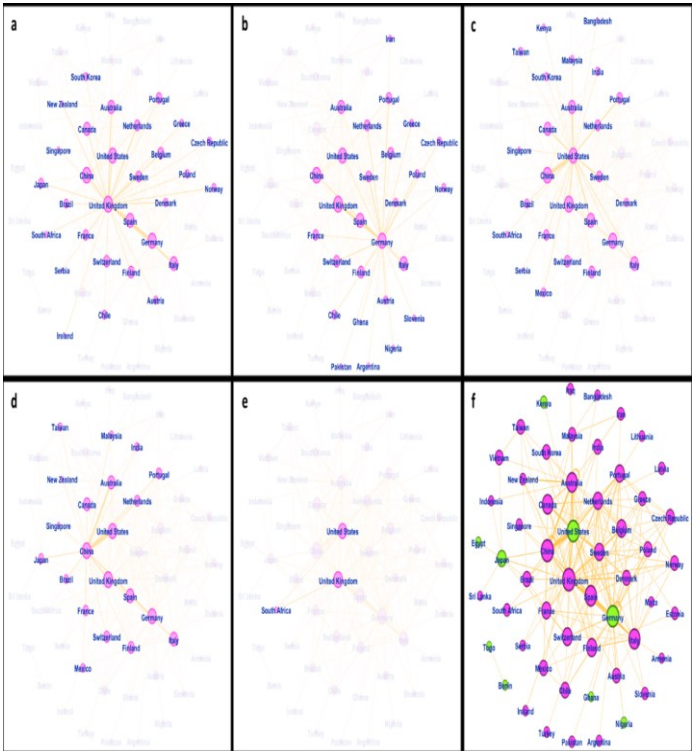


Figure 6. Collaborative authors' countries network with United Kingdom at the center (a), with Germany at the center (b), with United States at the center (c), with China at the center (d), with South Africa at the center (e), with different green color nodes for African countries and their Foreign associated countries (f)

To investigate collaboration between authors' affiliations, a table presenting the number of authors, authors' affiliations, and authors' countries was produced and revealed that only one-tenth of the publications produced on UGS and climate change were published without collaboration between neither authors, institutions, and countries (Table 3).

|                   |                 | Number of authors |     |     |     |        |     | Total |
|-------------------|-----------------|-------------------|-----|-----|-----|--------|-----|-------|
|                   |                 | 1                 | 2   | 3   | 4   | 5 to 9 | > 9 |       |
| One Country       | 1 institution   | 131               | 132 | 92  | 43  | 38     |     | 436   |
|                   | 2 institutions  | 10                | 74  | 58  | 49  | 52     | 2   | 245   |
|                   | 3 institutions  | 1                 | 9   | 30  | 21  | 58     | 4   | 123   |
|                   | >3 institutions |                   | 1   | 9   | 22  | 74     | 11  | 117   |
|                   | Sub total       | 142               | 216 | 189 | 135 | 222    | 17  | 921   |
| Two countries     | 2 institutions  | 2                 | 26  | 19  | 14  | 12     | 1   | 74    |
|                   | 3 institutions  |                   | 11  | 12  | 29  | 23     |     | 75    |
|                   | >3 institutions | 1                 | 6   | 9   | 9   | 57     | 9   | 91    |
|                   | Sub total       | 3                 | 43  | 40  | 52  | 92     | 10  | 240   |
| Three countries   | 3 institutions  |                   |     | 7   | 8   | 2      |     | 17    |
|                   | >3 institutions |                   | 1   | 3   | 7   | 25     | 11  | 47    |
|                   | Sub total       | 0                 | 1   | 10  | 15  | 27     | 11  | 64    |
| > Three countries | >3 institutions |                   |     | 1   | 4   | 13     | 20  | 38    |
|                   | Sub total       | 0                 | 0   | 1   | 4   | 13     | 20  | 38    |
| Total             |                 | 145               | 260 | 240 | 206 | 354    | 58  | 1263  |

Table 3. Collaboration between authors' institutions

3.6. Content analysis through word cloud and thematic mapping

The word cloud is a content analysis tool used to identify the most frequent terms in publication titles, abstracts, keywords, or any specified corpus within a dataset. For the current study, a word cloud was generated based on the titles of the retrieved publications on Urban Green Spaces (UGS) and climate change to highlight the key themes and areas of research foci.

To refine the results and ensure meaningful insights, common bigrams related to the search terms such as “climate change,” “urban green,” “green space,” “green spaces,” and “green infrastructure” were excluded from the word cloud. The top 50 resulting terms were visualized (Figure 7). In the word cloud, the size of each word is proportional to its frequency in publication titles. The prominence of terms such as “urban heat,” “heat island,” “ecosystem services,” and “nature-based solutions” suggests that key research themes focus on the warming characteristics of urban environments and the role of green infrastructure as nature-based solutions to mitigate these effects and enhance ecosystem services.

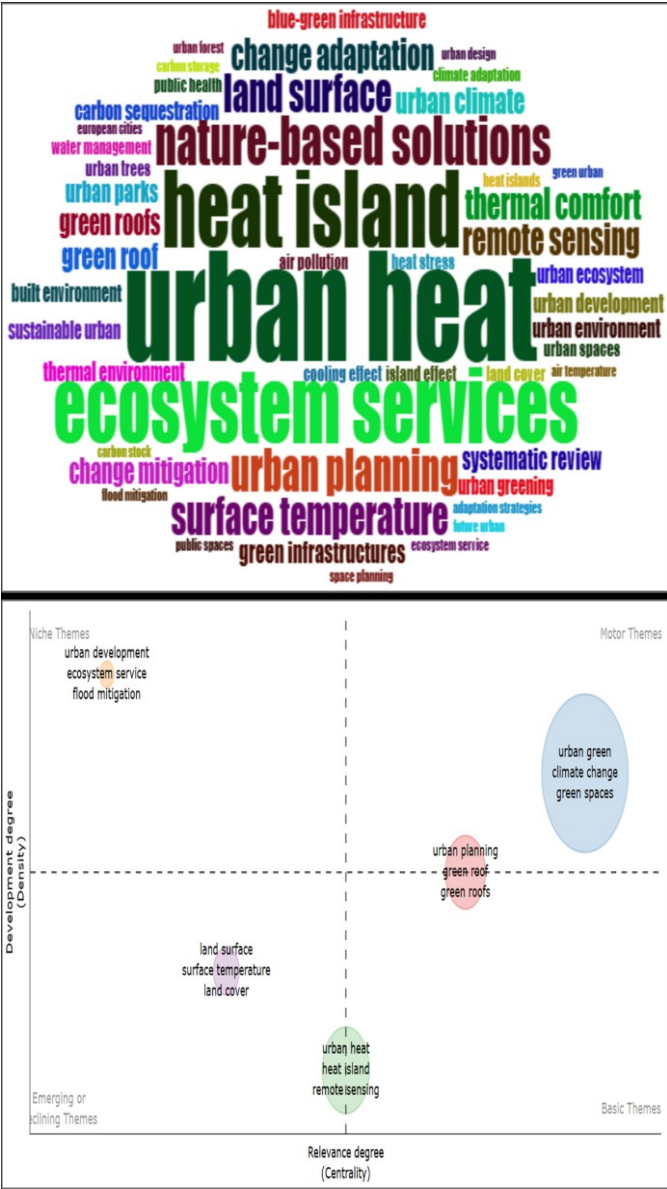


Figure 7. Word cloud outcome of the 50 meaningful themes (up), and thematic map of the most relevant topics (down) from the publications' titles of scientific productions on urban green spaces and climate change.

The thematic mapping (Figure 7) provides a comprehensive overview of the various themes within the field of UGS and climate change. Organized into four categories, this mapping allows for the identification and visualization of the evolution of the research field. The map is organized into four categories: niche topics, driving or motivating topics, emerging or declining topics, and core topics covered by scientific researchers. Note that degrees of relevance (centrality) are on the horizontal axis and degrees of development (density) are on the vertical axis, where circle sizes are related to the number of publications associated with each keyword. In the analysis, niche topics such as “urban development,” “ecosystem service,” and “flood migration” appear in the lower-right quadrant. These themes are moderately important but not yet well-developed, indicating potential for growth. Driving or motor themes, including “urban green,” “climate change,” and “green spaces,” are both well-developed and central to the field. They form the theoretical backbone of the research domain. Emerging or declining themes like “land surface,” “surface temperature,” and “land cover” show lower centrality and varying levels of

development, suggesting either a fading interest or topics that are still in early stages of exploration.

Basic and transversal themes such as “urban planning,” “green roof,” and “green roofs” are relevant but still in the process of deeper development.

Additionally, “urban heat,” “heat island,” and “remote sensing” stand out as the most mature and well-developed research topics, indicating their dominant role in the scientific discourse on the relationship between UGS and climate change.

### ***3.7. Urban climate change issues and contributions of UGS research to improving urban dwellers' wellbeing***

As highlighted in the content analysis, heat is one of the most critical climate-related threats facing urban environments. The relatively higher temperatures experienced in cities compared to surrounding non-urban areas result from factors such as building configuration and density, heat-retaining materials, reduced ventilation, and heat emissions from human activity. This phenomenon is commonly referred to as the Urban Heat Island (UHI) effect (Shaw, 2017). In addition to heat, cities are increasingly vulnerable to frequent and intense flooding events, which pose serious risks to public health, safety, and infrastructure (Alves et al., 2024).

Although climate change is not the direct cause of UHI, it exacerbates the effect, creating major challenges for city planners and residents alike (Shaw, 2017). Recognizing the urgent need to redesign urban areas for future environmental and social conditions, many cities have turned to the “re-naturalization” of public spaces through Nature-Based Solutions (NBS) (Shaw, 2017; Panno et al., 2017; Nóbrega-Carriquiry et al., 2023; Pancewicz et al., 2023).

NBS refer to actions inspired by, supported by, or copied from nature, designed to address a range of environmental and societal challenges. It includes the restoration of floodplains, the rewetting of peatlands, the maintenance of high nature value grassland, and the promotion of urban green spaces that in a city can mitigate UHI effect by reducing surface heat absorption, increasing solar energy reflection and water retention, as well as cooling warm spaces nearby through heat diffusion (Schlegelmilch et al., 2018). NBS do not only serve to reduce the risk of flooding and drought, but they also provide additional sustainability values, such as strengthening ecosystem services through increased biodiversity and recreation opportunities (Ternell et al., 2020). NBS are supported by nature and mimic natural processes. They serve as an umbrella concept for multiple sustainability-oriented approaches, including green infrastructure and ecosystem-based adaptation (Shilky et al., 2024), and can function as carbon sinks that reduce greenhouse gas emissions (Nassary et al., 2022).

Studies of establishment and implementation of various NBS strategies in cities to identify NBS strategies that are most beneficial for cities inhabitants and for environment led to a full-scale implementation of different NBS strategies including installing green roofs, de-sealing parking areas, enhancing vegetation in urban parks, and planting street trees, and a combination of them in Barcelona (Spain), Malmö (Sweden), and Utrecht (the Netherlands). Most scenarios provide multiple benefits, but each one is characterized by a specific mix. In all cities, a full-scale deployment of green roofs shows the greatest potential to reduce runoff and increase biodiversity, while tree planting either along streets or in urban parks, produces the greatest impact on heat mitigation and

greenness (Cortinovis et al., 2022). Implementation of NBS in public spaces such as street trees, and rain gardens is preferred over measures implemented on public buildings like green roofs and facades. A method to support urban NBS planning processes while addressing multiple climate adaptation objectives using a three-step GIS-based multi-criteria approach (priority areas identification, site-specific NBS allocation, and multifunctional performance evaluation) has been applied as a strategy to mitigate the UHI effect in vulnerable urban environments (Alves et al., 2024). In Poznań, a major Polish city, an urban green cover model and a 3D tree model were generated by integrating airborne laser scanning (ALS), Copernicus Land Monitoring Service (CLMS), topographic data, and ortho-imagery to complement a smart city model with comprehensive statistics (Uciechowska-Grakowicz et al., 2023). These computer algorithms generated reports on forest cover volume, CO<sub>2</sub> reduction, air pollutants, and the effect of greenery on mean temperature, interception, precipitation absorption, and biomass changes. This methodology provides insights into the potential of modifying UGS locations and their impacts on ecosystem services, aiding urban planners in their decision-making processes. In the realm of urban planning, researchers have proposed a remote-sensing-based urban planning tool to identify and optimize UGS locations in cities, considering various ecosystem services provided by UGS, such as CO<sub>2</sub> reduction and air quality improvement. Additionally, researchers have explored the combined effects of UGS on multiple air quality concerns, including carbon emissions (Van Ryswyk et al., 2019), urban heat islands (Ghazalli et al., 2018; Van Ryswyk et al., 2019; Ye and Qiu, 2021), and ozone pollution (Sun et al. 2019). By addressing these various pollutants and their combined effects, the research underscores the multifaceted benefits of UGS in promoting cleaner air within urban environments.

Despite their advantages, remote-sensing methods also had certain limitations. The spatial resolution of remote-sensing data can limit the ability to identify and characterize small landscape features, such as individual trees. In addition, cloud cover can obscure land surfaces and prevent the acquisition of usable remotely sensed images (Yevidé et al., 2023), and the integration of remotely sensed data with other data sources, such as cadastral data or household surveys, can be complex and require specialized skills. The other problem with these studies is that they don't present validations of the planning tool, and don't show how it has been used to make real urban planning decisions. Also, these studies focus on specific cities and, therefore, cannot be generalized to other countries or regions.

Other studies demonstrate the role of UGS in improving the health of urban populations, notably by reducing exposure to air pollution and the effects of greenhouse gases (Pessoa et al., 2022; Tate et al., 2024). More specifically, research shows that UGS contribute to reducing the risk of respiratory diseases by acting as a barrier against air pollution (Jaafari et al., 2020; Sun et al., 2019), reducing cardiovascular diseases (Heo and Bell, 2019; Hu et al., 2022) and limiting premature births (Asta et al., 2019). These studies show that UGS play a crucial role in protecting urban populations from one of the main environmental hazards associated with urbanization, air pollution, and thus help reduce the risk of non-communicable diseases. In addition, a significant number of studies focus on the positive impact of UGS on cardiovascular disease risk (Astell-Burt and Feng, 2020; Kondo et al., 2018; Seo et al., 2019).

Several studies have revealed that the implementation of NBS especially the development of green spaces infrastructures, is an innovative approach to mitigate UHI effect and improve life qualities in cities. However, despite the positive effect of NBS implementation on humans and environment, it comes with some downsides especially contributing to inequitable distribution of urban ecosystem services, benefiting wealthier areas while excluding marginalized communities (Thompson et al., 2023). Furthermore, NBS do not guarantee uniform benefits for people and nature, and can exacerbate urban tensions tied to conflicting visions of re-naturalization (Nóbrega-Carriquiry et al., 2023). Research in the Global North shows that green agendas, if aligned with neoliberal urban development, can lead to displacement and rising housing costs, ultimately harming vulnerable populations (Torres et al., 2023).

#### 4. Discussion

This review provides a comprehensive overview of Urban Green Spaces (UGS) and climate change through a spatiotemporal lens, highlighting the global scientific effort to address urban climate challenges. The analysis covered 1,274 scientific publications, primarily journal articles (873) and conference proceedings (170). English proved to be by far the dominant language of publication, accounting for 95.29% of the documents. This suggests that the majority of research in this field is disseminated and accessible to an international English-speaking audience. This dominance of English could limit the accessibility of research to non-English speaking audiences and hinder the global dissemination of knowledge. Indeed, by addressing language barriers and promoting inclusive research communication, findings of research on this critical topic could be accessible to a wider global audience and contribute to more informed decision-making and effective actions. Contributions of non-English speaking researchers to research on this topic may have been underrepresented despite the diversity of publication languages due to the search pattern used to retrieve scientific productions and the platform used. However, despite the importance of the topic covered by bibliometric analysis, several authors have pointed out that English was the dominant publication language (Liu et al., 2011; Yevide et al., 2016; Guerrero-Moreno et al., 2024).

Research on UGS and climate change developed slowly after 2000 with a low growth rate and years of non-production till 2008. From 2008 onwards, there was a marked increase in the number of publications that continued exponentially from 2017 until 2023. This noticeable increase reflects the growing interest in research on UGS and climate change. It also reflects the rising recognition of the importance of UGS in mitigating climate change and promoting sustainable urban development. This trend could also be explained by the growing awareness of the impacts of climate change on urban areas such as heat island issues and the development of new methodologies as well as the urgency to act.

Furthermore, China and the USA have led the way in research into urban green spaces, while Germany has the third-highest number of publications in the world, well ahead of Australia. China's surge in publications stems from a growing interest in urban green spaces and heightened environmental awareness. As the country shifts from break-neck urban expansion to a model focused on high-quality development, green spaces have become an essential counterbalance to high-density construction in its major cities (Dong et al., 2023). The surge in research in these countries can be explained by several factors: awareness of the

impacts of climate change on cities, recognition of the crucial role of urban green spaces in climate resilience, public health and general well-being, rapid urbanization, biodiversity concerns and the search for sustainable solutions for cities. Thus, since research on this subject has been carried out in China and the USA, it has developed rapidly. In-depth analyses of the Chinese CNKI database have revealed that research on "pocket parks", a type of urban green space in China, has mainly focused on planning and designing strategies for mitigating the heat island effect. Despite the progress made, it is important to note that research into UGS and climate change remains concentrated in a limited number of countries, especially developed ones. Entire regions, particularly in Africa, are lagging far behind. Nevertheless, the lack of information and research in Africa and Latin America can hamper evidence-based decision-making and planning (Du Toit et al., 2018). This also widens disparities in knowledge or knowledge gaps and limits the implementation of appropriate solutions on a global scale.

A global network of collaborations involving 4,312 authors from 87 countries worldwide contributed to research on UGS and climate change from 2001 to 2024. This network highlights the international nature of this research and the need for global cooperation to meet the challenges of climate change. South Africa's position as the only African country connected to the major networks is encouraging, but it also highlights Africa's limited contribution. Intense collaboration between China and the United States suggests that they are major players in this field of research. However, some countries' leadership in single-country publications may reflect national priorities in UGS and climate change research. The UK as the center of collaboration and the USA with the strongest collaboration, particularly with China, indicate strategic partnerships. The preponderance of the keywords "urban heat" and "heat islands" in publication titles highlights the growing impact of urbanization on urban microclimates. Urban concentration, characterized by increasing densification and population growth, contributes to rising temperatures and the formation of heat islands in cities (Padon et al., 2020). This trend is particularly noticeable in rapidly developing areas, where land use is changing at an accelerating pace. Studies reveal that increased urban density leads to higher temperatures in the urban environment compared to surrounding rural areas (Iamtrakul et al., 2024). Since understanding this complex phenomenon is essential to developing effective climate change mitigation and adaptation strategies in urban contexts, it is imperative to recognize the undeniable effectiveness of local climate data in quantifying the extent of the urban heat island effects. The increasing access to detailed climate data and the use of rigorous remote-sensing methods are opening up new perspectives for research into UGS and climate change (Best et al., 2023; Borna et al., 2023; Duan et al., 2022; Guo et al., 2022; Murtaza, et al., 2023). These data enable researchers to analyze long-term trends and understand spatial variations in the impacts of climate change on UGS in different urban contexts (Pudar and Plavšić, 2022). This enables informed decision-making and effective strategies to mitigate the effects of heat islands in cities. Rather than focusing solely on one-off urban heat events in specific areas, studies are turning to the analysis of time series of temperature data over several years. This approach provides a better understanding of local climate trends and enables us to assess the effectiveness of adaptation and mitigation strategies. These studies suggest the need to take into account the diversity of urban contexts for a thorough understanding of the

interactions between UGS, urbanization and climate change (Barbierato et al., 2019; Pudar and Plavšić, 2022; Srivanit and Iamtrakul, 2019). Each city has its own natural and built environmental characteristics, which uniquely influences the impact of UGS on the urban microclimate.

## 5. Conclusion

This study illustrates the need for further research into UGS and climate change in Africa, Latin America and other under-represented regions of the world, and for comparative studies in several cities to identify general trends and regional variations. Given the current methodological gaps in the field of climate change and urban green spaces (UGS), future research should account for the quality of UGS when evaluating their impacts on both climate change and human health. It is also essential to validate urban planning tools based on remote sensing technologies and to illustrate their application through concrete case studies. This may help to better understand the state of facts and propose effective and sustainable strategies to mitigate the effects of climate change in our cities. In addition to these gaps and recommendations, it is important to strengthen international collaborations in UGS and climate change research, especially in under-represented countries. Pooling the knowledge and resources of researchers from all over the world is essential to developing effective and sustainable solutions to the challenges of climate change and urbanization.

## Disclosure statement

The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and publication of this article.

## Author contributions

**Godonou Étienne Romaric Adéwalé:** Methodology, Data curation, Formal analysis, Writing – original draft. **Sedami Igor Armand Yevide:** Conceptualization, Methodology, Data curation, Formal analysis, Software, Visualization, Writing – original draft, Writing – review & editing. **Gbodja Houehanou Francois Gbesso:** Conceptualization, Resources, Data curation, Supervision, Writing – review & editing. **Wolo Leila Syntiche:** Data curation, Formal analysis, Writing – original draft. **Gbaguidi Ahonankpon Hubert Frédéric:** Writing – review & editing. **Lougbeignon Olou Toussaint:** Conceptualization, Writing – review & editing.

## References

Adda A, Maghrabi A. 2021. Role of Urban Greening Strategies for Environmental Sustainability—A Review and Assessment in the Context of Saudi Arabian Megacities. *Sustainability* 13(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/su13116457>

Alves A Van Opstal C, Keijzer N, Sutton N, Chen WS. 2024. Planning the multifunctionality of nature-based solutions in urban spaces. *Cities* 146: 104-751. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104751>

Aria M, Cuccurullo C. 2017. Bibliometrix: An R-Tool for Comprehensive Science Mapping Analysis. *Journal of Informetrics*. 11: 959-975.

Asta F, Michelozzi P, Cesaroni G, De Sario M, Badaloni C, Davoli M, Schifano P. 2019. The Modifying Role of Socioeconomic Position and Greenness on the Short-Term Effect of Heat and Air Pollution on Preterm Births in Rome, 2001-2013. *International Journal of Environmental*

*Research and Public Health*. 16(14). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16142497>

Astell-burt T, Feng X. 2020. Urban green space, tree canopy and prevention of cardiometabolic diseases: A multilevel longitudinal study of 46 786 Australians. *International Journal of Epidemiology*. 49(3): 926-933. DOI: <https://doi.org/10.1093/ije/dyz239>

Baldauf C, Reis MSD. 2010. Effects of Harvesting on Population Structure of Leatherleaf Fern (*Rumohra adiantiformis* (G. Forst.) Ching) in Brazilian Atlantic Rainforest. *American Fern Journal* 100(3): 148-158. DOI: <https://doi.org/10.1640/0002-8444-100.3.148>

Barbierato E, Bernetti I, Capecchi I, Saragosa C. 2019. Quantifying the impact of trees on land surface temperature: A downscaling algorithm at city-scale. *European Journal of Remote Sensing* 52(4): 74-83. DOI: <https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1646104>

Baycan-levent T, Nijkamp P. 2009. Planning and Management of Urban Green Spaces in Europe: Comparative Analysis. *Journal of Urban Planning and Development*. 135(1): 1-12. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9488\(2009\)135:1\(1\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9488(2009)135:1(1))

Best L, Schwarz N, Obergh D, Teuling AJ, Van Kanten R, Willemen L. 2023. Urban green spaces and variation in cooling in the humid tropics: The case of Paramaribo. *Urban Forestry & Urban Greening*. 89:128-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2023.128111>

Borna R, Roshan G, Moghbel M, Szabo G, Ata B, Attia S. 2023. Mitigation of Climate Change Impact on Bioclimatic Conditions Using Different Green Space Scenarios: The Case of a Hospital in Gorgan Subtropical Climates. *Forests*. 14(10). DOI: <https://doi.org/10.3390/f14101978>

Cheela VRS, John M, Biswas W, Sarker P. 2021. Combating Urban Heat Island Effect—A Review of Reflective Pavements and Tree Shading Strategies. *Buildings*. 11(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/buildings11030093>

Cortinovis C, Olsson P, Boke-olen N, Hedlund K. 2022. Scaling up nature-based solutions for climate-change adaptation: Potential and benefits in three European cities. *Urban Forestry and Urban Greening*. 67: 127-450. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127450>

Dearborn DC, Kark S. 2010. Motivations for Conserving Urban Biodiversity. *Conservation Biology*. 24(2): 432-440. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2009.01328.x>

Donateo A, Rinaldi M, Paglione M, Villani MG, Russo F, Carbone C, Zanca N, Pappaccogli G, Grasso FM, Busetto M, Sanger P, Ciancarella L, Decesari S. 2021. An evaluation of the performance of a green panel in improving air quality, the case study in a street canyon in Modena, Italy. *Atmospheric Environment*. 247: 118-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118189>

- Dong J, Guo R, Guo F, Guo X, Zhang Z. 2023. Pocket parks-a systematic literature review. *Environmental Research Letters*. 18(8): 083003. DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ace7e2>
- Dorendorf J, Eschenbach A, Schmidt K, Jensen K. 2015, Both tree and soil carbon need to be quantified for carbon assessments of cities. *Urban Forestry & Urban Greening*. 14(3): 447-455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.04.005>
- Du toit MJ, Cilliers SS, Dallimer M, Goddard M, Guenat S, Cornelius SF. 2018. Urban green infrastructure and ecosystem services in sub-Saharan Africa. *Landscape and Urban Planning* 180: 249-261. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.06.001>
- Duan Y, Gao YG, Zhang Y, Li H, Li Z, Zhou Z, Tian G, Lei Y. 2022. "The 20 July 2021 Major Flood Event" in Greater Zhengzhou, China: A Case Study of Flooding Severity and Landscape Characteristics. *Land*. 11(11). DOI: <https://doi.org/10.3390/land11111921>
- Gelan E, Girma Y. 2021. Sustainable Urban Green Infrastructure Development and Management System in Rapidly Urbanized Cities of Ethiopia. *Technologies*. 9, 66. DOI: <https://doi.org/10.3390/technologies9030066>
- Ghazalli AJ, Brack C, Bai X, Said I. 2018. Alterations in use of space, air quality, temperature and humidity by the presence of vertical greenery system in a building corridor. *Urban Forestry & Urban Greening*. 32, 177-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.04.015>
- Guerrero-moreno MA, Oliveira-junior JMB. 2024. Approaches, Trends, and Gaps in Community-Based Ecotourism Research: A Bibliometric Analysis of Publications between 2002 and 2022. *Sustainability*. 16: 26-39.
- Guler AT, Waaijer CJF, Mohammed Y, Palmblad M. 2016. Automating Bibliometric Analyses Using Taverna Scientific Workflows: A Tutorial on Integrating Web Services. *Journal of Informetrics*. 10: 830-841.
- Guo X, Liu Z, Gao D, Xu C, Zhang K, Liu X. 2022. Application of land use modes in the spatial prediction of soil organic carbon in urban green spaces. *International Agrophysics*. 37(1): 1-14. DOI: <https://doi.org/10.31545/intagr/156027>
- Heo S, Bell ML. 2019. The influence of green space on the short-term effects of particulate matter on hospitalization in the U.S. for 2000–2013. *Environmental Research*. 174: 61-68. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.04.019>
- Hildago-garcia D, Reazapouraghdam H. 2023. Variability of heat stress using the UrbClim climate model in the city of Seville (Spain): Mitigation proposal. *Environmental Monitoring and Assessment*. 195(10): 11-64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11768-8>
- Hu HB, Hou ZH, Huang CH, Lamonte MJ, Wang M, LU B. 2022. Associations of exposure to residential green space and neighborhood walkability with coronary atherosclerosis in Chinese adults. *Environmental Pollution*. 292, 118-347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.118347>
- Hutyra LR, Yoon B, Alberti M. 2011. Terrestrial carbon stocks across a gradient of urbanization: A study of the Seattle, WA region. *Global Change Biology*. 17(2): 783-797. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02238.x>
- Iamtrakul P, Padon A, Chayphong S. 2024. Quantifying the Impact of Urban Growth on Urban Surface Heat Islands in the Bangkok Metropolitan Region, Thailand. *Atmosphere*. 15(1). DOI: <https://doi.org/10.3390/atmos15010100>
- Jones L, Fletcher D, Fitch A, Kuyser J, Dickie I. 2024. Economic value of the hot-day cooling provided by urban green and blue space. *Urban Forestry & Urban Greening*. 93: 128-212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2024.128212>
- Kerishnan PB, Maruthaveeran S. 2021. Factors contributing to the usage of pocket parks—A review of the evidence, *Urban Forestry & Urban Greening*. 58(126985). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.126985>
- Kistemann T, Zerbe S, Saumel I, Fehr R. 2023. Stadtgrün und Stadtblau im Klimawandel. *Das Gesundheitswesen*. 85(5): 296-303. DOI: <https://doi.org/10.1055/a-2144-5404>
- Kitha J, Lyth A. 2011. Urban wildscapes and green spaces in Mombasa and their potential contribution to climate change adaptation and mitigation. *Environment and Urbanization - ENVIRON URBAN*. 23: 251-265. DOI: <https://doi.org/10.1177/0956247810396054>
- Kondo MC., Fluehr JM, Mckeen T, Branas CC. 2018. Urban Green Space and Its Impact on Human Health. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 15(3). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph15030445>
- Liu X, Zhang L, Hong S. 2011. Global biodiversity research during 1900–2009: a bibliometric analysis. *Biodiversity and Conservation*. 20: 807-826.
- Lovell ST, Taylor JR. 2013. Supplying urban ecosystem services through multifunctional green infrastructure in the United States. *Landscape Ecology*. 28(8): 1447-1463. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9912-y>
- Mees HLP, Driessen PPJ. 2011. Adaptation to climate change in urban areas: Climate-greening London, Rotterdam, and Toronto. *Climate Law*. 2(2): 251-280. DOI: <https://doi.org/10.3233/CL-2011-036>
- Murtaza KO, Shafai S, Shahid P, Romshoo SA. 2023. Understanding the linkages between spatio-temporal urban land system changes and land surface temperature in Srinagar City, India, using image archives from Google Earth Engine. *Environmental Science and Pollution Research International*. 30(49): 107281-107295. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28889-9>

- Nassary ek msomba BH, Masele WE, Ndaki PM, Kahangwa CA. 2022. Exploring urban green packages as part of Nature-based Solutions for climate change adaptation measures in rapidly growing cities of the Global South. *Journal of Environmental Management*. 310(114786). DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114786>
- Nero BF, Callo-concha D, Anning A, Denich M. 2017. Urban Green Spaces Enhance Climate Change Mitigation in Cities of the Global South: The Case of Kumasi, Ghana. *Procedia Engineering*. 198: 69-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.074>
- Noszczyk T, Cegielska K, Rogatka K, Starczewski T. 2023. Exploring green areas in Polish cities in context of anthropogenic land use changes. *The Anthropocene Review*. 10: 710-731. DOI: <https://doi.org/10.1177/20530196221112137>
- Nowak DJ. 2006. Institutionalizing urban forestry as a “biotechnology” to improve environmental quality. *Urban Forestry & Urban Greening*. 5(2): 93-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.04.002>
- Padon A, Punson B, Iamtrakul P, Klaylee J. 2020. The Study on Association between Urban Green Space and Temperature Changes in Mega City. 2020 International Conference and Utility Exhibition on Energy. *Environment and Climate Change*. (ICUE) 1-7. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICUE49301.2020.9307077>
- Pancewicz A, Kurianowicz A. 2024. Urban Greening in the Process of Climate Change Adaptation of Large Cities. *Energies*. 17(2): 377. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17020377>
- Panno A, Carrus G, Lafortezzza R, Mariani L, Sanesi G. 2017. Nature-based solutions to promote human resilience and wellbeing in cities during increasingly hot summers. *Environmental Research*. 159 : 249-256. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.016>
- Pessoa VG, Guiselini C, Souza HH, De Pandorfi H, Almeida Tab DE, Fernandes GST. 2022. Telhados verdes: Contribuições ambientais com ênfase em sequestro de carbono. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 15(3). DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1229-1238>
- Pudar RS, Plavsic J. 2022. Benefits of Green Infrastructure for Flood Mitigation in Small Rural Watersheds—Case Study of the Tamnava River in Serbia. In: GOURBESVILLE P, CAIGNAERT G. (eds) *Advances in Hydroinformatics*. Springer Water. Springer, Singapore. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-1600-7\\_37](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1600-7_37)
- Reis C, Lopes A. 2019. Evaluating the cooling potential of urban green spaces to tackle urban climate change in Lisbon. *Sustainability (Switzerland)*. 11(9): 2480. DOI: <https://doi.org/10.3390/su11092480>
- Sanesi G, Colangelo G, Lafortezza R, Calvo E, Davies C. 2018. Urban green infrastructure and urban forests: A case study of the Metropolitan Area of Milan. In *Green Infrastructure*. Routledge.
- Schlegelmilch K, Bonn A, Schroder A, Schroter-Schlaack C, Hansjurgens B. 2018. Nature-based solutions for climate change mitigation and adaptation - Benefits of nature conservation measures. *Nature and Landschaft*. 93(12): 569-577. DOI: <https://doi.org/10.17433/12.2018.50153649.569-577>
- Seo S, Choi S, Kim K, Kim SM, Park SM. 2019. Association between urban green space and the risk of cardiovascular disease: A longitudinal study in seven Korean metropolitan areas. *Environment International*. 125 : 51-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.01.038>
- Shawb BJ. 2017. Case 11: Urban green infrastructure in Vienna - Nature-based solutions to enhancing quality of life. *The Science and Practice of Landscape Stewardship*. 239-241. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781316499016.024>
- Shilky Ekka P, Upreti M, Kumar A, Saikia P. 2024. Chapter 16—Nature-based solutions and ecological urban planning and design for the sustainable urban environments. In A. Kumar, P. K. Srivastava P, Saikia R. K. Mall (Éds.), *Earth Observation in Urban Monitoring*. 339-358. Elsevier. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-99164-3.00005-7>
- Singh O. 2023. Species Selection in Urban Forestry—Towards Urban Metabolism. In: Bhadouria, R., Tripathi, S., Singh, P., Joshi, P.K., Singh, R. (eds) *Urban Metabolism and Climate. Change*. Springer, Cham. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-031-29422-8\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-29422-8_14)
- Srivanit M, Iamtrakul P. 2019. Spatial patterns of greenspace cool islands and their relationship to cooling effectiveness in the tropical city of Chiang Mai, Thailand. *Environmental Monitoring and Assessment*. 191(9): 580. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7749-9>
- Stevens HR, Graham PL, Beggs PJ, Ossola A. 2024. Associations between violent crime inside and outside, air temperature, urban heat island magnitude and urban green space. *International Journal of Biometeorology*. 68(4): 661-673. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00484-023-02613-1>
- Sun Y, Xie S, Zhao S. 2019. Valuing urban green spaces in mitigating climate change: A city-wide estimate of aboveground carbon stored in urban green spaces of China's Capital. *Global Change Biology* 25(5): 1717-1732. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.14566>
- Tate C, Wang R, Akaraci S, Burns C, Garcia L, Clarke M, Hunter R. 2024. The contribution of urban green and blue spaces to the United Nation's Sustainable Development Goals: An evidence gap map. *Cities*. 145:104706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cities.2023.104706>
- Tarnell A, Stigson P, Elmqvist B, Ohlson JA, Hansson H, Nilsson AM. 2020. Financial instruments for nature-based solutions to reduce risks of flooding and drought. *Ecocycles*. 6(1): 110-133. DOI: <https://doi.org/10.19040/ecocycles.v6i1.161>
- Thompson A, Bunds K, Larson L, Cutts B, Hipp JA. 2023. Paying for nature-based solutions: A review of funding and financing mechanisms for ecosystem services and their impacts on social equity. *Sustainable Development*. 31(4): 1991-2066. DOI: <https://doi.org/10.1002/sd.2510>

- Torres PHC, Souza DTPD, Momm S, Travassos L, Picarelli SBN, Jacobi PR, Da Silva Moreno R. 2023. Just cities and nature-based solutions in the Global South: A diagnostic approach to move beyond panaceas in Brazil. *Environmental Science and Policy*. 143: 24-34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2023.02.017>
- Uciechwska-grakowicz A, Herrara-granados O, Biernat S, Bac-bronowicz J. 2023. Usage of Airborne LiDAR Data and High-Resolution Remote Sensing Images in Implementing the Smart City Concept. *Remote Sensing*. 15(24). DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15245776>
- Valenca Pinto L, Inacio M, Pereira P. 2023. Observation-based data-gathering method to support the assessment of the use of cultural ecosystem services in urban green spaces. *MethodsX*. 11: 102326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102326>
- Van Ryswyk K, PRINCE N, Ahmed M, Brisson E, Miller JD, Villeneuve PJ. 2019. Does urban vegetation reduce temperature and air pollution concentrations? Findings from an environmental monitoring study of the Central Experimental Farm in Ottawa, Canada. *Atmospheric Environment*. 218: 116886. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116886>
- Vasquez A, Giannotti E, Galdamez E, Velasquez P, Devoto C. 2019. Green Infrastructure Planning to Tackle Climate Change in Latin America. In C. Henríquez & H. Romero (Éds.), *Urban Climates in Latin America*. 329-354. Springer International Publishing. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4\\_13](https://doi.org/10.1007/978-3-319-97013-4_13)
- Ye Y, Qiu H. 2021. Environmental and social benefits, and their coupling coordination in urban wetland parks. *Urban Forestry & Urban Greening*. 60: 127043. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127043>
- Yevide ASI, Wu B, Khan AS, Zeng Y, Liu J. 2016. Bibliometric analysis of ecosystem monitoring-related research in Africa: implications for ecological stewardship and scientific collaboration. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*. 23(5): 412-422. DOI: <https://doi.org/10.1080/13504509.2015.1129998>
- Yevide SIA, Cobbina ND, Loescher HW, Khan AS, Baffoe A. 2023. Land use change and forest patch analysis as a decision-making tool to sustainably develop plantation agriculture and optimize biodiversity conservation. *African Journal of Ecology*. 00: 1-14. DOI: <https://doi.org/10.1111/aje.13160>
- Zhang H, Han M. 2021. Pocket parks in English and Chinese literature: A review. *Urban Forestry & Urban Greening*. 61: 127080. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2021.127080>



## IDENTIFICATION ET DESCRIPTION DES SYSTÈMES CULTURAUX DE PRODUCTION DE GINGEMBRE AU BÉNIN

ZIMAZI Komi Godwin<sup>1</sup>, MONTCHO HAMBADA Koffi David<sup>2</sup>, AGUIA-DAHO Jacques<sup>3</sup>, AGBANGLA Clément<sup>4</sup><sup>1</sup> ZIMAZI Komi Godwin, Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP-43, Kétou, Bénin, [gowinzimaz@gmail.com](mailto:gowinzimaz@gmail.com) ;<sup>2</sup> MONTCHO HAMBADA Koffi David, Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP-43, Kétou, Bénin, [montchodav@yahoo.fr](mailto:montchodav@yahoo.fr);<sup>3</sup> AGUIA-DAHO Jacques, Laboratoire d'Economie Rurale et de Sciences Sociales pour le Développement Durable, Université Nationale d'Agriculture, BP-43, Kétou, [jackthree@yahoo.fr](mailto:jackthree@yahoo.fr);<sup>4</sup> AGBANGLA Clément, Laboratoire de Génétique Moléculaire et d'Analyse des Génomes, Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, BP-526, Abomey-Calavi, Bénin, [clement.agbangla@gmail.com](mailto:clement.agbangla@gmail.com)

## RESUME

Le gingembre (*Zingiber officinale*) est une épice d'importance mondiale qui a connu un essor économique considérable ces dernières années en raison de ses multiples usages en gastronomie et en médecine traditionnelle. Compte tenu de son importance, la présente étude a été initiée afin d'analyser les systèmes cultureux de la culture. Il s'agit spécifiquement de recenser les pratiques agricoles associées à sa production et de les décrire de manière systématique afin d'élaborer un guide technique de la culture. Ainsi, une enquête a été menée auprès de 301 personnes dans 13 communes du Bénin afin de collecter des données relatives aux pratiques culturelles du gingembre. L'analyse des résultats a montré que la pratique de la culture du gingembre se fait dans les trois zones climatiques (Subéquatoriale, soudanienne et Subsoudanienne) du Bénin. La commune de Kétou occupe la première place en termes de production (45,16 %). De façon générale les champs sont situés aux bords des cours d'eau et trois cultivars sont prioritairement cultivés avec une prédominance du cultivar jaune ou vrai gingembre (45,16 %). Le gingembre est principalement cultivé sur du labour plat (67,74 %), en culture pure (87,10 %), sous couvert (77,42 %) et sur des superficies de 400 m<sup>2</sup> (54,84 %). La mise en terre est faite dans 93,55 % des cas avec des morceaux de rhizomes issus principalement d'ancienne production (93,55 %) avec un cycle de 7 mois (35,48). Le désherbage manuel est le mode d'entretien des champs et la fertilisation est assurée par les engrais organiques (61,29 %). A la récolte, les rhizomes sont conservés sous ombrage (38,71 %) pour une utilisation personnelle ou pour la commercialisation. La production du gingembre est peu répandue au Bénin et non mécanisée.

**Mots clés :** cultivars, culture, fertilisation, cycle, conservés

Corresponding author: Godwin K. ZIMAZI,

Received in Apr 2025 and accepted in July 2025

E-mail address: [gowinzimaz@gmail.com](mailto:gowinzimaz@gmail.com)

## 1. Introduction

Le gingembre (*Zingiber officinale* Rosc.) est considéré comme l'une des plus importantes épices à travers le monde. Cette épice est d'une importance économique grâce à sa commercialisation qui génère des revenus aux producteurs (Nayak *et al.*, 2005). Elle a pris une ampleur en importance sur divers plans ces dernières années grâce à ses nombreuses vertus tant culinaires que médicinales (Nguehdama et Ndamé, 2021).

En effet, il s'agit d'une herbacée annuelle dotée d'un caractère vivace grâce à son rhizome charnu, allongé, formé de nombreuses ramifications noueuses et tubéreuses et appartient à la famille des Zingibéraceae constituée de 47 genres et 1400 espèces (Parthasarathy *et al.*, 2012). Dans la flore analytique du Bénin, Akoegninou *et al.* (2006) font mention de la présence de 30 espèces réparties en deux (02) genres dont le gingembre aux multiples composés.

Par ailleurs, le gingembre contient plusieurs composés tels que les gingérols, les gingerdiols, les gingerdiones, etc. (Colleen *et al.*, 2012) qui lui confèrent une activité antioxydante très élevée (Singh *et al.*, 2008 ; Akbarian *et al.*, 2011).

Dans la médecine traditionnelle chinoise, le gingembre est utilisé dans le traitement des problèmes intestinaux, de la diarrhée ou la nausée et d'autres maux (Azam *et al.*, 2014). Au Bénin, le gingembre est utilisé

pour solutionner les problèmes d'hypertension, la toux, les vomissements liés aux grossesses et le mal de transport etc. (Zimazi *et al.*, 2022).

Enfin, le gingembre est introduit au Bénin il y a plusieurs décennies et est communément connu sous l'appellation de « dotè/doteh ». Sa culture est très peu répandue au Bénin. Les quelques communes où sa culture a été enregistrée, les superficies sont très petites malgré ses multiples vertus. Dans son rôle économique pour les producteurs, le gingembre peut être considéré comme une culture de rente. Cependant, au Bénin, les institutions en charge de l'agriculture ne disposent d'aucune donnée concernant la culture du gingembre notamment le système de production et l'itinéraire technique pratiquée.

Cette étude vise à caractériser le système culturel du gingembre afin de mieux faire connaître l'espèce. De façon spécifique, il a été question d'identifier les systèmes de production de la culture du gingembre et de décrire ces derniers afin d'en définir une fiche technique de production.

## 2. Matériel et méthodes

## 2.1. Matériel

L'identification des zones de culture du gingembre s'est déroulée en deux phases. La première phase, de nature prospective, a été réalisée avec des Agences Territoriales de Développement Agricole (ATDA) et les Cellules Communales d'Agriculture. Ces institutions ont permis de dresser une première liste des localités productrices de gingembre. La deuxième phase a consisté en des visites de terrain et des échanges avec les commerçants de gingembre sur les marchés locaux. Cette étape a permis de compléter et de confirmer les informations concernant les villages producteurs identifiés lors de la première phase. Au terme de ces étapes, l'enquête proprement dite a été lancée. Le choix des villages pour la phase d'enquête est essentiellement basé sur la production du gingembre dans ledit village.

## 2.2. Méthodes

Pour réaliser l'enquête, des fiches d'enquête ont été élaborées sous forme de questionnaire. Ces dernières ont servi de guide d'entretien lors de l'enquête de terrain auprès de producteurs de gingembre identifiés. Les enquêtes se sont déroulées dans 13 communes à travers 08 départements, 39 villages et auprès de 301 personnes du Sud au Nord du pays en passant par le Centre. Au cours de l'enquête, les informations collectées étaient relatives aux pratiques culturelles de production du gingembre. Ainsi, plusieurs paramètres ont été enregistrés par le biais de fiches descriptives conçues pour chaque paysan. Les paramètres enregistrés sont entre autres le mode d'approvisionnement, l'origine de la semence, la préparation du sol, le mode de mise en terre, les superficies emblavées, le cycle des cultivars etc. La méthode d'échantillonnage a été la méthode de boule de neige.

## 2.3. Analyse des données

Les données d'enquête enregistrées ont été regroupées en deux catégories : données quantitatives et qualitatives. Les variables quantitatives et qualitatives collectées ont été utilisées pour déterminer et décrire le système de production du gingembre. Le tableur Excel a été utilisé pour la saisie des données et le logiciel SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) version 17.0 pour le calcul de fréquences et l'analyses statistiques descriptives.

## 3. Résultats

### 3.1. Zones de production

Les données d'enquête ont révélé que sur 13 communes qui ont été prospectées, seules 09 ont été considérées comme zones productrices du gingembre, soit 69% de la zone couverte par l'étude. Les informations relatives aux communes recensées ainsi que le nombre de producteurs identifiés par commune et village ont été consignées dans le tableau 1. De ce tableau, il ressort que sur les 39 villages qui ont été explorés, le gingembre a été produit au niveau de 17 ; Soit 43,58% des villages prospectés.

| Communes | Villages/quartier de ville | Nombre de producteurs | Total |
|----------|----------------------------|-----------------------|-------|
| ABOMEY-  | ALEGLETA                   | 1                     |       |

|            |               |    |    |
|------------|---------------|----|----|
| CALAVI     | ADJAGBO       | 1  | 2  |
| SEME POJI  | SEME POHJI    | 1  | 1  |
| ADJOHOUN   | KAKANITCHOUE  | 1  | 1  |
| BEMBEREKE  | WANRANNOU     | 1  | 1  |
| PARAKOU    | BAKA          | 1  | 1  |
| SAVALOU    | ZOUNGUENE     | 1  | 6  |
|            | ZOUNDJI       | 1  |    |
|            | DOHISSA       | 4  |    |
| KETOU      | VEDJI         | 8  | 14 |
|            | ADJOZOUME     | 4  |    |
|            | DENOU         | 1  |    |
|            | KINKPLAKPLA   | 1  |    |
| GRAND-POPO | GBEHOUE       | 1  | 1  |
| ATHIEME    | HOUNKPOTANNOU | 1  | 4  |
|            | AWAKOU        | 1  |    |
|            | ATULASSI      | 1  |    |
|            | ADJAHA        | 1  |    |
| Total      | 9             | 17 | 31 |

Tableau 1 : Nombre de communes et de producteurs

En termes de capacité de production, la proportion de chaque commune a été présentée sur la figure 1.

De l'analyse de cette figure, il s'est révélé que la commune de Kétou a été la plus grande productrice de gingembre avec 45,16% de la quantité totale produite.

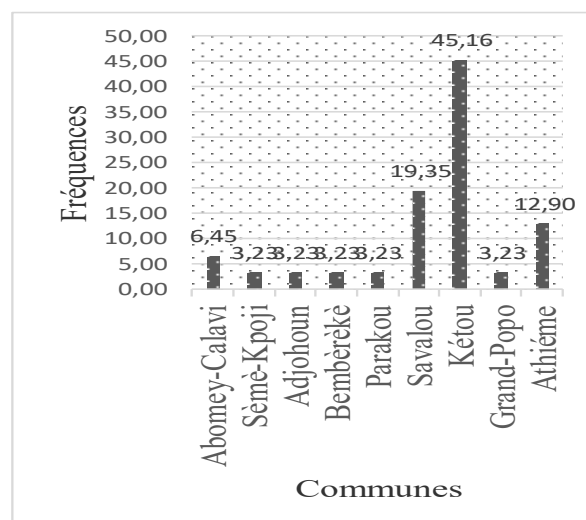


Figure 1 : Capacité de production par commune

### 3.1.1. Situation géographique

A l'issu des enquêtes de terrain, il a été constaté que la culture du gingembre est pratiquée dans les trois zones climatiques du Bénin. Il

s'agit de la zone sud au climat de type subéquatorial avec deux saisons pluvieuses par an, de la zone de transition Subsoudanienne et de la zone nord au climat de type tropical continental avec une saison pluvieuse. La zone Subéquatoriale dans le Sud (entre 6°30' et 7° N) a la pluviométrie variant de 900 à 1500 mm par an. La température moyenne annuelle y est de 28°C et l'humidité relative de 75 % en moyenne par an. L'insolation moyenne annuelle y est de 2290 heures.

La zone guinéo-soudanienne au centre (7° et 10° N) connaît des fluctuations de température très marquées et une pluviométrie moyenne de 1200 mm par an. La température moyenne annuelle y est de 27°C et l'humidité relative de 60% en moyenne par an, avec une insolation moyenne annuelle de 2305 heures. Quant à la zone soudanienne semi-aride au Nord de 10°N, elle est caractérisée par des pluies annuelles variant de 900 à 1100 mm et un déficit pluviométrique élevé. La température moyenne annuelle y est de 27°C et l'humidité relative de 58% en moyenne par an. L'insolation moyenne annuelle y est de 2862 heures. De ces zones climatiques, on constate une forte concentration des producteurs dans la zone subéquatoriale qui serait due au fait qu'elle dispose des conditions très favorables à la production du gingembre. La localisation des communes et des villages de production du gingembre a été présentée sur la figure 2.

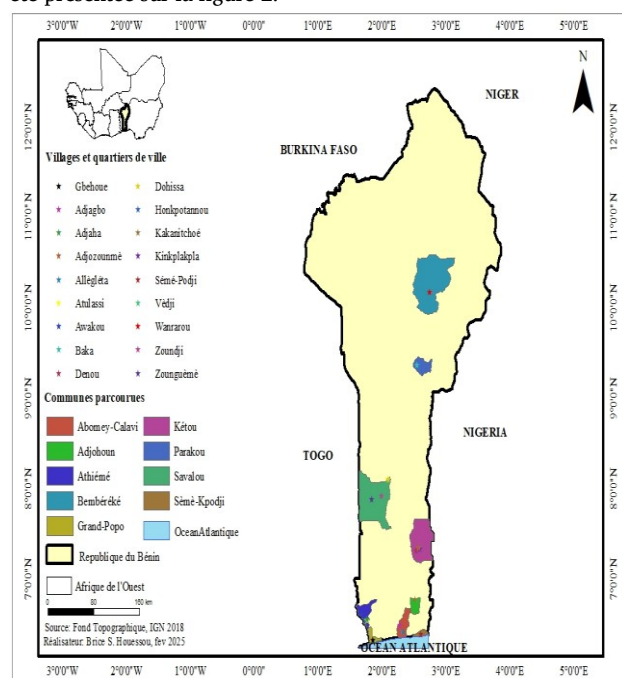


Figure 2 : Situation géographique des zones de production

**Source :** Fond Topographique IGN (1992), Coordonnées de terrain (2022)

Quant à la pluviométrie au cours des cinq (5) dernières années dans la zone d'étude, elle a été représentée sur la figure 3.

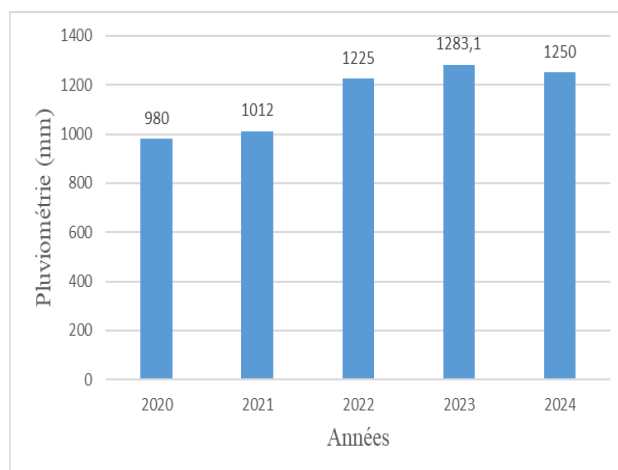


Figure 3 : Pluviométrie des 05 années écoulées dans la zone d'étude

### 3.2. Les cultivars de gingembre en production au Bénin

L'analyse des données a permis de classer les cultivars en trois groupes. Ces groupes ont été définis selon les critères de choix des cultivars par les producteurs. Il s'agit de l'arôme, le goût et la grosseur. Ainsi, pour la distinction des cultivars de gingembre dans les chaînes de vente, ils ont associé la couleur jaune au cultivar au goût piquant appelé aussi vrai gingembre ou petit gingembre, la couleur grisâtre au cultivar au goût très piquant appelé aussi "Tometon" (étranger) et la grosseur au cultivar au goût amer connu sous le nom de "Agbajuba" en milieu holti. La proportion de production de chaque cultivar identifié a été présentée sur la figure 4.

L'analyse de la figure a révélé que la proportion de production des cultivars a varié d'un cultivar à un autre. Le cultivar « Jaune/petit/vrai gingembre » a été le plus produit et le cultivar « Agbajuba » a été le moins produit. Ceci a montré que le gingembre jaune a plus de valeur pour les producteurs que le « agbajuba »

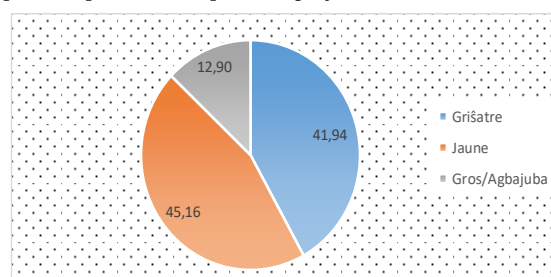


Figure 4 : Cultivar et proportion de production

### 3.3. Classification des cultivars en fonction des communes

La classification des cultivars (tableau 2) a montré que ces derniers n'ont pas été produits dans toutes les communes. D'après cette classification, seule la commune de Kétou a produit les trois cultivars décrits. Le cultivar jaune a été produit dans 7 communes, le cultivar agbajuba dans 3 communes et le cultivar grisâtre dans 2 communes. Les cultivars grisâtre et agbajuba sont produits respectivement dans les communes de Sème Kpodji et Bembèrèkè de façon exclusive. Ce dernier résultat a montré que le choix du cultivar par les producteurs est fonction de leur connaissance dudit cultivar ainsi que des conditions climatiques.

| Communes      | Cultivars                  |
|---------------|----------------------------|
| ABOMEY-CALAVI | Jaune                      |
| SEME POJI     | Grisâtre                   |
| ADJOHOUN      | Jaune                      |
| BEMBEREKE     | Agbajuba                   |
| PARAKOU       | Jaune                      |
| SAVALOU       | Jaune, Agbajuba            |
| KETOU         | Grisâtre ; Agbajuba, jaune |
| GRAND-POPO    | Jaune ;                    |
| ATHIEME       | Jaune                      |

Tableau 2: Répartition des cultivars en fonction des communes de production

### 3.4. Cycle des cultivars en production dans la zone d'étude

Afin de déterminer le cycle de production des différents cultivars, les données ont été soumises à une analyse de fréquence. Les résultats ont montré que la durée de maturation des cultivars de gingembre utilisés par les producteurs a été très variable. Elle a varié de cinq (05) à douze (12) mois (figure 5). La plupart (45,48%) des cultivars ont un cycle de sept (07) mois et de six (06) mois (29,03). Il s'agit donc d'un résultat qui a montré que les études d'amélioration du gingembre devront s'appesantir sur des cultivars ayant des cycles de 6 ou 7 mois.

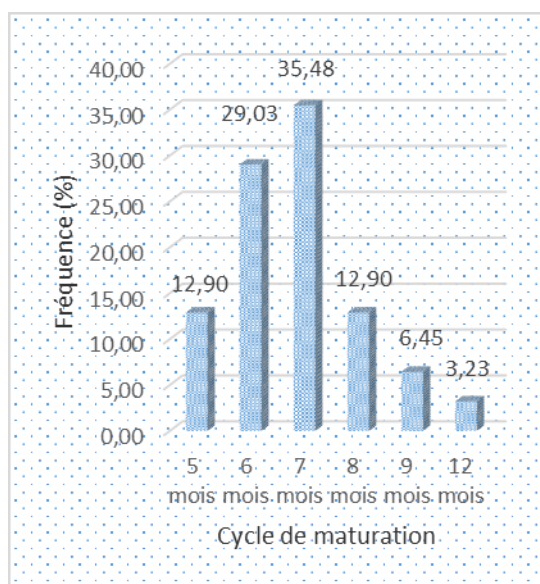


Figure 5 : Cycle de production des cultivars de gingembre

### 3.5. Modes d'acquisition du matériel végétal de départ

Le gingembre est une espèce dont la reproduction est asexuée. Il s'agit d'une espèce à multiplication végétative. Dans la zone d'étude, les producteurs multiplient le gingembre à partir du matériel végétal en provenance de leurs villages de résidence ou des villages à proximité. Pour ce faire, les producteurs obtiennent le matériel végétal de plusieurs façons. Tels que le don, l'achat, la sélection/ancienne production et l'héritage. Dans 93,55 % des cas, les producteurs conditionnent des semences à partir d'une sélection des rhizomes de leur ancienne production qu'ils utilisent pour la nouvelle campagne. L'achat (61,29%) a été le deuxième mode d'acquisition du matériel (Figure 6). Les dons ou les échanges en nature ont été mentionnés dans 34,48% des cas comme mode d'obtention de la semence du gingembre. Enfin, 16,13% des producteurs ont hérité du matériel végétal. Cette variation dans le mode d'acquisition est un facteur de création de richesse et de renforcement des liens de voisinage. Par conséquent, la production du gingembre peut non seulement lutter contre la faim, la pauvreté mais aussi être un levier de paix et du développement.

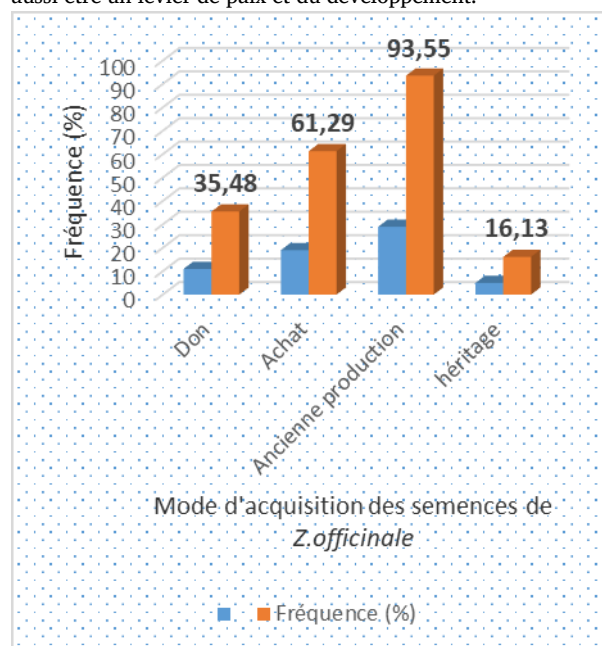


Figure 6 : Mode d'acquisition du matériel végétal de *Z. officinale*

### 3.6. Techniques culturales

#### 3.6.1. Préparation du sol

Le type ou la forme du sol a déterminé la préparation à mettre en place pour maximiser le rendement de la culture du gingembre. Dans la zone d'étude, les producteurs ont pratiqué la culture du gingembre sur diverses formes de préparation du sol. Plus de 67,74 % des producteurs ont pratiqué le labour plat pour la culture du gingembre (figure 7). Ce qui a fait du labour plat le mode de production du gingembre le plus répandu dans la zone d'étude. D'autres producteurs se sont adonnés à une production sur des billons (6,45%) et sur des planches (29,03%). La largeur des billons a varié entre 0,5 et 1m avec une hauteur comprise entre 20 et 30 cm et ont été séparés les uns des autres par des distances selon le bon vouloir du producteur. Toutefois, des billons espacés de 40 à 60 cm ont été enregistrés. Quant aux planches, des confections de

planche d'une largeur de 1 à 1,5 m et d'une longueur comprise 10 et 20 m espacées les unes des autres par des distances selon le bon vouloir du producteur ont été également enregistrées. La production du gingembre est faite aussi sur des butes confectionnées. Mais cette pratique a été en faible proportion (3,23%).

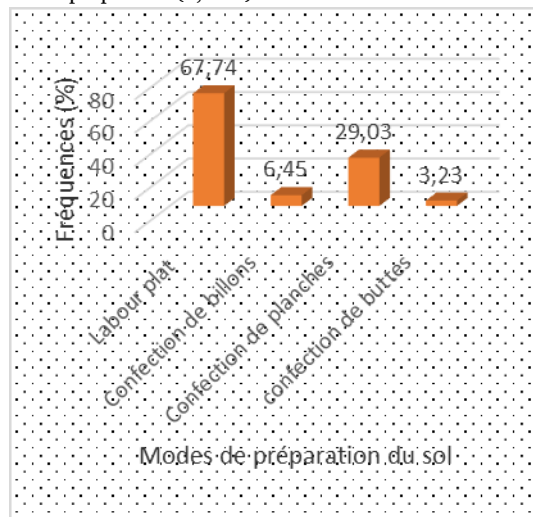


Figure 7 : Préparation du sol

### 3.6.2. Outils de préparation du sol de culture du gingembre

Pour évaluer le niveau de mécanisation de la culture du gingembre dans la zone d'étude, une analyse des outils de préparation du sol a été faite. Dans 48,39 % des cas (figure 8), la préparation du sol est faite de façon manuelle avec la houe. Certains producteurs (45,16 %) se sont contentés d'une préparation du sol au moyen de la daba et d'autres encore avec la hache (41,94 %). Dans 6,45 % des cas, il a été noté une association de la houe et de la daba pour la préparation du sol. De même, 29,03 % de producteurs ont associé la houe et la hache pour préparer le sol à la culture du gingembre. Enfin, dans une faible proportion (3,23 %), le tracteur est utilisé pour la préparation du sol. Il se dégage de cette analyse que la mécanisation de la production du gingembre au Bénin est quasi inexistante.

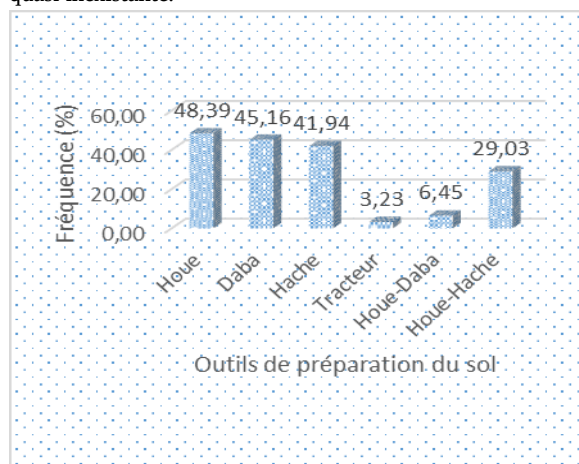


Figure 8 : Outils de préparation du sol de reproduction du gingembre

### 2.6.3. Superficies emblavées et situation des champs

La culture du gingembre est pratiquée principalement en plein champ. Il se produit aux abords des bas-fonds, sur terre ferme et ce, sur de petite superficie (figure 34). Au moins 54,84% des producteurs ont étendu leur production sur une superficie de 400m<sup>2</sup>. D'autres producteurs (19,35%) ont pratiqué la culture du gingembre sur des superficies de 200m<sup>2</sup>. Par ailleurs, il a été remarqué une production sur une superficie de 800m<sup>2</sup> (12,90%) et de 2000m<sup>2</sup> (9,68%). A partir de 5000m<sup>2</sup> jusqu'à 10000m<sup>2</sup>, la proportion de culture du gingembre a été constante (3,23%). Par conséquent, le gingembre demeure comme une culture de case au Bénin.

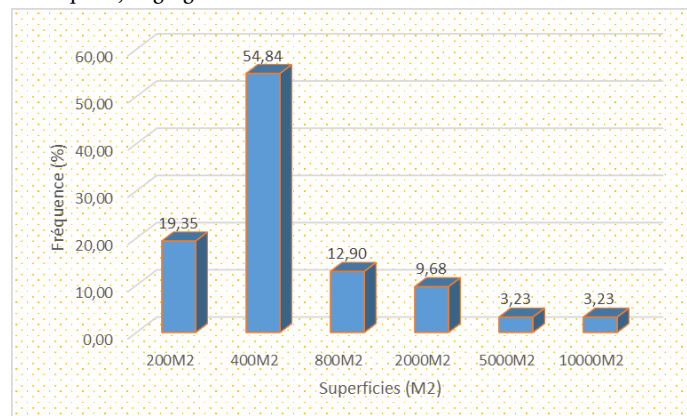


Figure 9 : Superficie emblavée par les producteurs du gingembre

### 3.6.3. Mode de mise en terre

Etant donné que le gingembre est une espèce asexuée, plusieurs options de reproduction s'offrent aux producteurs. Dans la zone d'étude, 3,23 % (figure 10) des producteurs sélectionnent des petits rhizomes apparemment sains avec une longueur comprise entre 5 et 10 cm comportant 3 à 5 bourgeons qu'ils utilisent comme semence pour implanter le champ de gingembre. D'autres part, 3,23% des producteurs passent par la pépinière avant l'implantation du nouveau champ de gingembre par le biais du repiquage. Enfin, 93,55 % des producteurs utilisent des morceaux de gingembre comme semences pour la nouvelle campagne de production de ce dernier. Il faut noter que dans le cas du repiquage ou l'usage des morceaux de gingembre, les producteurs sélectionnent les rhizomes présentant une grande grosseur, toujours apparemment sains qu'ils morcellent sur une longueur comprise entre 3 et 5 cm comportant 3 à 4 bourgeons. Ces derniers sont utilisés soit directement pour le nouveau champ soit mis en pépinière. Le choix du rhizome pour la nouvelle campagne est basé sur deux principaux critères : le goût piquant ou amer que procure le rhizome sur la langue au goûter et de son état sanitaire. La mise en terre se fait entre les mois d'Avril et de Juin dans des poquets de faible profondeur (4 à 10 cm) avec un espacement régulier de 15 à 25 cm par endroits et irrégulier d'autre part. De cette analyse, il se conclure qu'au Bénin, il n'existe pas de structure agréée dans la production de semence de gingembre.

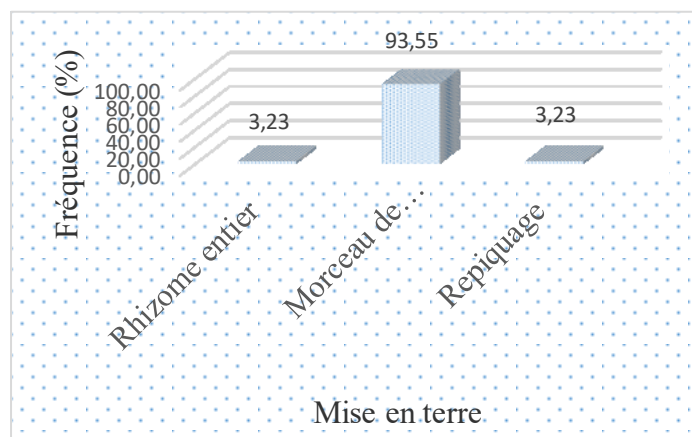


Figure 10 : Modes de mise en terre du rhizome de gingembre

### 3.6.4. Mode de culture du gingembre

La culture du gingembre présente des particularités. Il s'agit d'une culture nécessitant une couverture végétale pour son bon développement. Dans la zone d'étude, 77,42% des producteurs (figure 11) pratiquent la culture du gingembre sous couvert contre 22,58% sans couvert. En effet, après la mise en terre, la parcelle entière est recouverte par les producteurs avec de paille. La paille est constituée essentiellement de résidus de récolte et de branchages. Par ailleurs, dans 87,10% des cas (figure 11), la production du gingembre est pratiquée en culture pure contre 12,90% d'une culture en association avec d'autres cultures. Il a été noté dans une faible proportion de l'ordre de 9,68% de producteurs pratiquant la culture du gingembre en association ou en culture pure. Enfin, pour maximiser le rendement et éviter la dégradation du sol, 83,87% des producteurs pratiquent la culture du gingembre en rotation contre 16,13% avec d'autres cultures. La culture du gingembre peut être considéré comme une faction de gestion de la fertilité des sols.

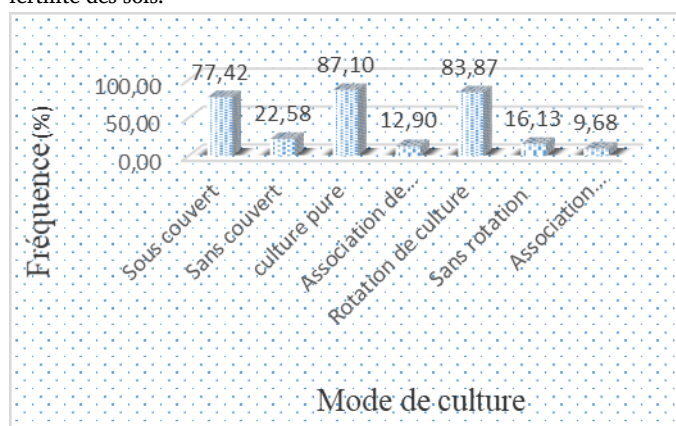


Figure 11 : Mode de culture du gingembre

### 3.6.5. Culture en association à la production du gingembre

Il a été noté que les producteurs associent la culture d'autres plantes avec la culture du gingembre et vis-versa. Il s'agit des cultures vivrières ou des cultures pérennes. Dans 42,86 % des cas (figure 12), le maïs et le taro ont été les cultures les plus associées à la culture du gingembre. Il a

été également enregistré la culture du gingembre dans un champ d'anacarde (14,29 %). L'association de la culture du gingembre à la culture de l'anacarde a été perçue comme une technique pour palier le paillage dont la mise en place devient harassante dans certaines zones.

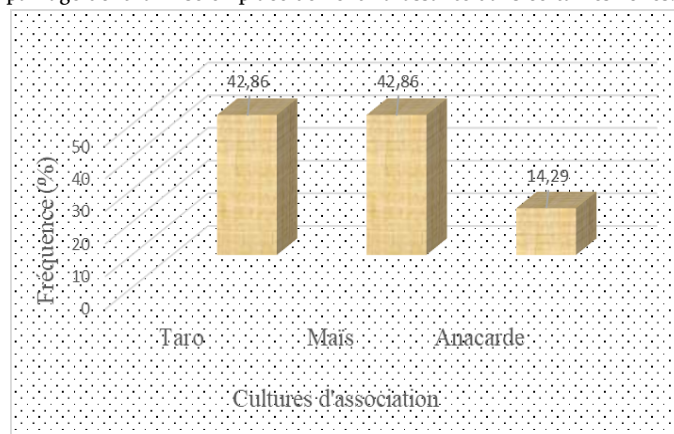


Figure 12 : Cultures associées à la production de la culture du gingembre

### 3.6.6. Culture en rotation à la culture du gingembre

Pour la gestion de la fertilité des terres destinées à la culture du gingembre, les producteurs pratiquent la rotation de culture. Plusieurs cultures ont été identifiées dans la zone d'étude comme des cultures idéales qui peuvent précéder la mise en place de la culture du gingembre. Ces dernières vont des cultures vivrières aux cultures maraîchères (figure 13). Dans 38,71 % des cas, les producteurs utilisent le maïs en rotation à la culture du gingembre. Les tubercules ou racines tels que le manioc, le taro, et l'igname sont utilisés respectivement dans les proportions de 25,81 % ; 3,23 % et 6,45 %. Par ailleurs, certains producteurs utilisent les légumineuses tel que le niébé (3,23 %) en rotation à la culture du gingembre. Enfin, les cultures maraîchères (22,88 %) ont été aussi utilisées à la campagne agricole précédant celle de la mise en place de la culture du gingembre (figure 13). Dans l'ensemble, les cultures en rotation à la culture du gingembre sont soit des cultures fertilisantes, soit des cultures dont la mise en place est consolidée par l'apport suffisant de fertilisant ou soit des cultures dont la récolte permet de remuer le sol.

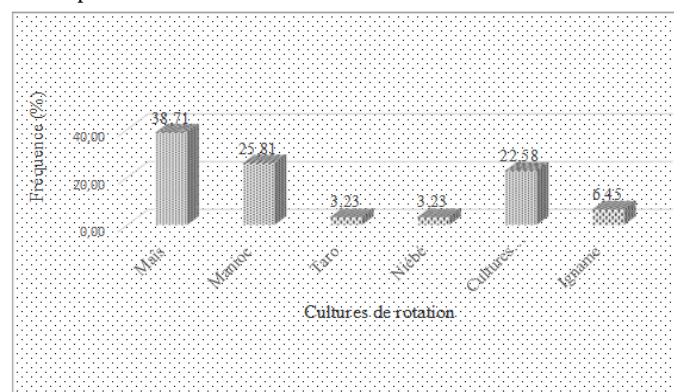


Figure 13 : Cultures de rotation à la mise en place de la culture du gingembre

### 3.6.7. Entretien des parcelles et fertilisation

Après la mise en terre, les premières pousses sont observables en 15 jours. La levée est progressive jusqu'à 30 jours lorsque les conditions de cultures sont réunies. En dehors de ce temps il faudra songer à un remplacement des poquets vides. En réalité, à l'apparition des tiges ou plantules, la paille est éliminée progressivement pour favoriser leur développement. Elle peut être renouvelée lorsque les plantules deviennent des plantes. Le maintien au propre de la parcelle est essentiel pour réduire la concurrence entre la culture du gingembre installée et les adventices. Généralement, l'entretien de la parcelle est continu pendant toute la période de développement. A partir de 3 semaines de culture, les désherbages commencent. Ils peuvent se faire par sarclage au moyen de houe, binette ou par arrachage manuel (à la main). Le nombre de sarclage/désherbages est fonction du cultivar et de son cycle de développement. Généralement, trois sarclages sont suffisants pour la culture du gingembre. En dehors de ces entretiens pour espérer un bon rendement, les producteurs ont souvent recours à des fertilisants de diverses catégories pour maximiser la productivité. Ces fertilisants sont de types organique, minéral et biologique (Figure 14). Dans la zone d'étude, 61,29% de producteurs fertilisent la culture du gingembre avec des fertilisants organiques. Les fertilisants organiques se composent de la fiente des volailles, la bouse de vache, la déjection des petits ruminants ou encore du composte obtenu à partir des résidus de récolte. Les fertilisants minéraux sont composés de NPK et Urée. Dans 29,03 % des cas, les producteurs font un apport de ces fertilisants lors de la culture du gingembre. Certains producteurs (6,45 %) pratiquent la culture du gingembre avec du biofertilisant tel que le *vermicompost* ou n'en font aucun (12,90 %) apport de fertilisants. Enfin dans la zone d'étude, certains producteurs (3,23 %) font des associations de fertilisants (figure 14).

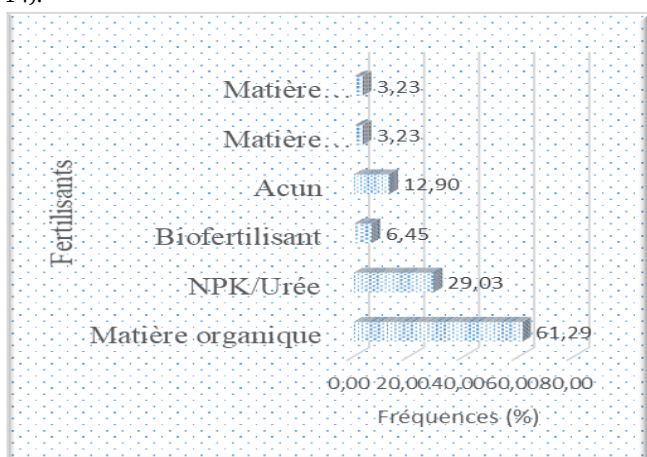


Figure 14 : Types de fertilisants utilisés pour la culture du gingembre

### 3.6.8. Récolte des rhizomes à maturité

Etant donné que le gingembre est un rhizome, la récolte se fait avec délicatesse afin d'éviter au maximum les cassures et les blessures. Elle intervient lorsque les feuilles et les tiges sont desséchées et chutent. Elle peut également se faire bien avant cette période selon le besoin d'utilisation. Dans la zone d'étude, la récolte s'effectue de manière manuelle au moyen de plusieurs outils. Dans 100 % des cas (figure 15),

les rhizomes sont récoltés à l'arrachage à la main. Il est donc à noter qu'une récolte de gingembre peut se faire entièrement à la main dans les meilleures conditions. Cependant, dans certains cas, la récolte nécessite l'intervention d'outils supplémentaires. Dans la zone d'étude, 9,68 % des producteurs associent la main et la machette pour faciliter la récolte. En dehors de la machette, certains producteurs (74,19 %) utilisent la houe ou la daba pour s'assurer une bonne récolte. Enfin, l'intervention de la hache (16,13 %) en appui à la main dans la perspective d'une bonne récolte pour une conservation durable a été enregistrée dans la zone d'étude.

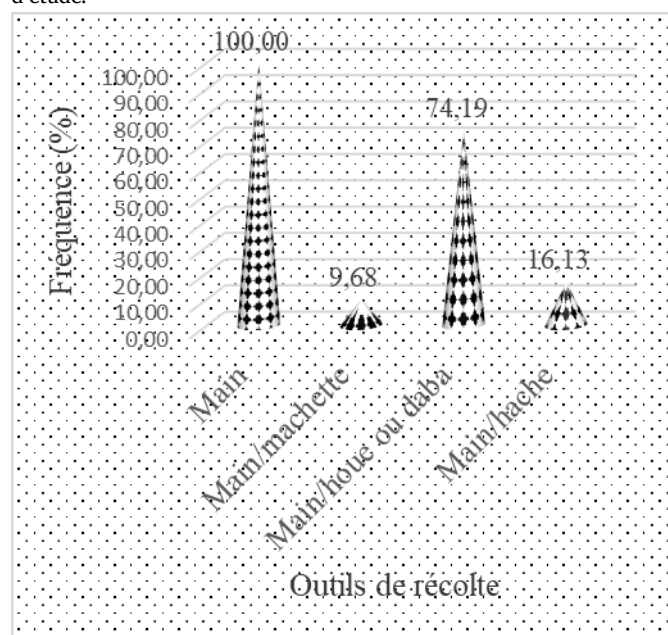


Figure 15 : Récolte des rhizomes et outils associées

### 3.6.9. Mode de conservation des rhizomes de gingembre

Après la ou à maturité, les rhizomes sont conservés de différentes manières. Les principaux modes de conservation identifiés dans la zone d'étude sont la conservation sur pieds, la conservation sous ombrage, la conservation par séchage, par réfrigération ou la conservation dans une fosse ou un simple trou (figure 16). Les rhizomes sont conservés dans 38,71 % sous ombrage. Il s'agit en réalité d'une conservation qui consiste à débarrasser les rhizomes de toute impureté après récolte, les disposer sous des grands arbres avec des grand branchages ou des paillotes sur de la paille et sont recouverts de la paille à la fin. Par moment, le tas est arrosé pour éviter que les rhizomes ne se dessèchent. Certains producteurs (25,81 %) conservent les rhizomes sur pieds ou les sèchent pour en faire du gingembre séché. La conservation sur pieds consiste à arracher la partie aérienne de la plante à maturité. La partie souterraine est ensuite recouverte de la paille. Par ailleurs, 19,35 % des producteurs adoptent le mode de conservation dans fosse/trou ou préfèrent réfrigérer leur produit de récolte (3,23 %). Enfin, dans une proportion de 3,23 % (figure 16) certains producteurs utilisent plus d'un seul mode de conservation des rhizomes.

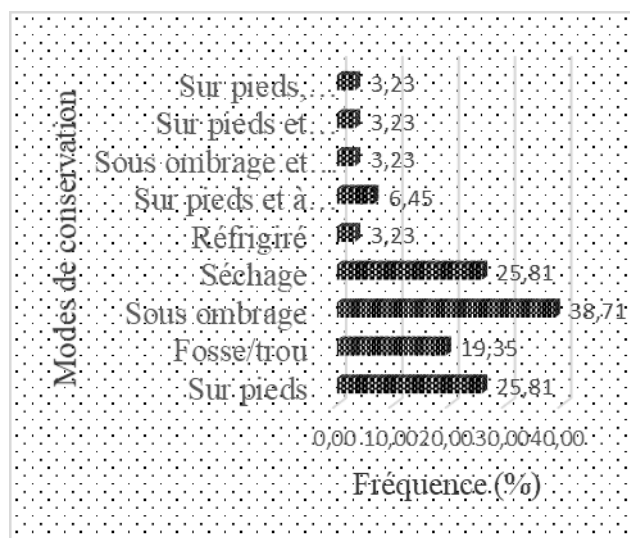


Figure 16 : Modes de conservation des rhizomes à ma maturité ou à la récolte

#### 3.6.10. Destination des produits de récolte

À l'issue de la récolte, les rhizomes connaissent deux destinations : l'usage personnel et la commercialisation. En effet, le gingembre est utilisé en cuisine comme épice pour assaisonner la sauce ou les viandes. La forme séchée et broyée est souvent utilisée dans le thé et les jus. Les rhizomes sont aussi utilisés pour son rôle aphrodisiaque. Les rhizomes frais sont broyés pour en extraire le jus qui constitue le jus de gingembre. Par ailleurs, ses vertus thérapeutiques font qu'il est impliqué dans le traitement de certaines maladies. Sur le plan de la commercialisation, les rhizomes sont découpés en de petits morceaux, séchés et vendus sur les marchés locaux. De même, la forme fraîche des rhizomes fait partie des étalages des vendeuses d'épices dans les marchés de la place. Il faut noter que la culture du gingembre est prioritairement destinée à la commercialisation. Les quantités produites sont juste livrées sur les marchés locaux. La culture du gingembre ne fait pas encore objet d'exportation même si elle est considérée comme une culture de rente. Les revenus des ventes sont considérés comme des compléments aux revenus des autres cultures.

## 4. Discussion

### 4.1. Zone de production, conditions et cultivars en culture

Des études révèlent que la pratique de la culture du gingembre se fait par-dessus tout dans les zones tropicales (Ghosh *et al.*, 2011). Mais le gingembre est cultivé aussi dans presque tous les pays tropicaux et subtropicaux où les précipitations annuelles sont supérieures à 1000 mm (Nandkangre *et al.*, 2016). Présenté telle, comme une condition principale à la pratique de la culture du gingembre, des similarités sont enregistrées dans la zone couverte par la présente étude. Dans cette zone, la pluviométrie moyenne est de 1200 mm par an. Selon Okwuowulu (2005), le rendement est étroitement lié à la durée des pluies qui ne doit pas excéder 06 mois. Des précipitations comprises entre 1500 et 3000 mm/an avec une distribution de 8 à 10 mois seraient

idéales pour la culture du gingembre (Rafie et Olczyk, 2003). Cependant, il n'existe pas au Bénin de données concrètes relatives à la culture du gingembre. Cette absence de données est due à l'absence de travaux scientifiques consacrés à l'étude de l'espèce. Par conséquent, les politiques agricoles ne peuvent pas l'intégrer dans les processus de valorisation. Ce qui se révèle comme un paradoxe vu les potentiels du gingembre. Le Bénin est donc loin d'être considéré comme un pays producteur du gingembre. En Afrique, le Nigéria est en tête du peloton des producteurs de gingembre avec une production annuelle estimée à 2225000 tonnes sur une superficie de 205000 ha ([World Ginger Production by Country - AtlasBig.com](#), 2025). Cependant, cette production n'est pas à la hauteur de la superficie emblavée et cela est lié aux pratiques agronomiques, au manque d'utilisation du matériel adapté etc. (Nandkangré, 2016).

Les cultivars en production de la zone d'étude présentent de différences liées à la couleur de la peau et de la chaire du rhizome, la longueur du rhizome etc. il s'agit là des traits morphologiques distinctifs entre les cultivars. Les cultivars les plus appréciés dans la zone d'étude sont ceux ayant le goût très piquant. De telles différences sont observées chez les écotypes en production au Burkina Faso par Nandkangré (2016). Les différences observées sont dues aux conditions agroécologiques dans lesquelles ils évoluent (Joshi *et al.*, 2012). Par ailleurs, Kandianan *et al.* (2009) rapportent que dans différents centres de production, il existe des cultivars distincts en raison du type de sol, le climat et les pratiques culturales. Il faut noter que dans la zone d'étude, en se basant sur les traits morphologiques, la variabilité au sein des cultivars est faible. Ce qui crée une faible diversité même si Nayak *et al.* (2005) affirment que malgré le mode de multiplication végétative du gingembre, il existe une grande diversité au sein de l'espèce. Cette faible diversité constatée dans la zone d'étude est liée au fait que les producteurs ne produisent que les cultivars dont ils ont connaissance ou qui présentent un intérêt majeur pour eux.

Pour la mise en place de la culture du gingembre, le matériel végétal s'obtient par plusieurs modes. Dans la zone étude, la sélection des rhizomes à partir de l'ancienne production est le mode d'acquisition le plus répandu. Ce choix est dû à l'absence de structures agréées de production de semences de gingembre. De même, le producteur veut s'assurer de l'origine de sa semence. Ce constat est contradictoire au Burkina Faso où Nandkangré (2016) affirme que les producteurs du gingembre se procurent le matériel de départ uniquement sur les marchés locaux pour la mise en place de la culture du gingembre. Cela se justifie par le fait que dans certains cas, le matériel est moins cher et disponible pendant la mise en place de la culture.

Quant au cycle de production, les cultivars ont un cycle qui varie entre 5 et 12 mois. La majorité des cultivars ont un cycle de 7 mois. Ces résultats sont aux antipodes de ceux de Nandkangré (2016) qui trouvent qu'au Burkina Faso, les cultivars de gingembre utilisés ont un cycle allant de trois (03) à douze (12) mois. La majorité des cultivars présentent une durée de maturité de quatre (04) mois. Cette différence se justifie par le fait que les cultivars en production dans ces différents pays ne sont pas les mêmes.

#### 4.2. Techniques culturales

Au Bénin, la culture du gingembre se fait en culture pure ou en association. Ce que confirme Partasarathy (2012) en rapportant que la culture du gingembre peut se faire en association ou en culture pure. Par contre, au Burkina Faso, la culture du gingembre se pratique en culture pure uniquement (Nandkangré, 2016). Il faut retenir que dans la zone couverte par la présente étude, la pratique de la culture pure du gingembre est la plus rependue. Ce constat est dû au fait que les écartements entre les pieds de gingembre sont très petits. Cela ne facilite pas l'introduction d'une autre culture dans un champ de gingembre. En réalité, la pratique de l'association de culture observée dans la pratique de la culture du gingembre intervient lorsque le taux de levée est faible. La multiplication du gingembre est végétative et se fait par des éclats de rhizomes comme semences. La taille des semences observées dans la zone d'étude varie entre cinq (5) et dix (10) cm avec des bourgeons viables. Selon Partasarathy (2012), les semences présentent des dimensions qui varient en fonction de la variété. De même, Nandkangré (2016) rapporte que le poids et la taille des rhizomes servant de semences varient d'une localité à une autre et selon la variété à utiliser. Dans tous les cas, les semences pour la multiplication du gingembre présentent une petite taille. Ce qui fait que le producteur n'a pas besoin de grande quantité de rhizomes avant d'obtenir la semence nécessaire à la pratique de la culture du gingembre. La petitesse de la taille des semences se justifie par la totipotence très levée chez le gingembre. La mise en place des champs se fait par la confection de billons, des planches ou sur un labour plat voire sur des buttes. Il s'agit-là des modes de préparation du sol dont usent les producteurs pour se faciliter la pratique de la culture du gingembre. Pour Nandkangré (2016), les billons ont des hauteurs très variables et ceux aux bords bas-fonds doivent atteindre au moins 50 cm de hauteur afin d'éviter la pourriture du matériel mis en terre à cause de l'engorgement d'eau. Les producteurs avertis préfèrent la pratique de la culture du gingembre dans des endroits ombragés cause de l'effet indésirable du soleil sur les plantules du gingembre. C'est un choix qui se justifie par l'absence de pailles. En sa présence, le paillage est systématiquement mis en place. Par ailleurs, il a été rapporté que les plants de gingembre subissent une photo-inhibition lorsqu'ils sont soumis à un fort ensoleillement et se développent mieux dans une exposition non intense aux rayons solaire. Il se dégage alors que le gingembre est une culture qui affectionne les espaces non exposés à un fort éclairage.

La culture du gingembre se pratique uniquement en saison pluvieuse où les conditions climatiques sont propices à son bon développement (Nandkangré, 2016). Ces résultats ne reflètent pas la réalité dans la zone couverte par la présente étude. Dans ladite zone, le gingembre se cultive en toute période de l'année. Certains producteurs créent les conditions favorables à l'émergence des plants. La mise en place se fait en quinconce avec une densité de 20 – 30 x 20 – 30 cm. Ces densités diffèrent des pratiques en Inde dans la localité de Sikkim (30 x 45 – 60 cm), en Australie (15 x 40 – 60cm), en Chine (20 x 60–65 cm) et en Jamaïque (15 – 20 x 15 – 20 cm) (Parthasarathy, 2012). Dans la zone

d'étude, en plus de la mise en terre en quinconce, des producteurs préfèrent une mise en terre en ligne sur les planches et sur les billons avec des écartements de 20 – 30 x 20 – 30 cm ou 15 – 20 x 15 – 20 cm. La forme quinconce est juste observé chez les producteurs pratiquant la culture du gingembre sur du labour plat qui est d'ailleurs la plus pratiquée dans la zone d'étude. Dans ce cas, aucun écartement n'est respecté. Pour ces derniers, le nombre de plants par surface détermine le rendement. Or le gingembre est une culture qui se développe bien lorsqu'il trouve de l'espace. Ces pratiques sont liées à une non maîtrise des techniques de production du gingembre qui est lui-même un corollaire de manque de formation des producteurs à la pratique de la culture du gingembre en raison d'absence de politiques agricoles qui ne s'intéressent pas à la spéculation. La mise en terre se fait généralement dès le démarrage des pluies en Mai et début Juin. Certains producteurs mettent leurs semences en terre à partir du mois d'Avril. Xizhen et al. (2005) rapportent qu'en Chine, la mise en terre se fait entre les mois de Janvier et Avril. Au Bénin, la période propice à la mise en terre des semences est mi-Mars à fin Avril. Une période qui correspond à la période du début des pluies. En effet, lorsque les rhizomes sont mis en terre précocement, l'émergence des plantules a lieu dès le démarrage des pluies. Cela favorise l'enracinement des plants de façon précoce et leur permet de résister aux pluies diluviennes.

Une fois la mise en place est terminée, le paillage systématique ne sert seulement pas à protéger les rhizomes mis en terre contre l'effet de l'ensoleillement. Il sert également au maintien de l'humidité du sol, améliore la fertilité du sol de par sa dégradation et lutte drastiquement contre l'invasion des mauvaises herbes. De pareils bienfaits du paillage traditionnellement appliqué sont rapportés par Parthasarathy (2012) qui affirme que ce dernier améliore la levée et l'infiltration de l'eau. En effet, les mauvaises herbes réduisent considérablement le rendement chez le gingembre et par conséquent, elles constituent un problème majeur à la pratique de la culture du gingembre. Leur effet est donc contrôlé par un entretien régulier du champ par désherbage manuel et un apport supplémentaire de nutriment. Dans la zone d'étude, l'apport des nutriments se fait par l'application des engrais minéraux, organiques et biologiques. Certains producteurs pratiquent la culture du gingembre sans aucun apport. Ce choix se justifie par le fait de la non connaissance de l'importance de l'apport de nutriments supplémentaire vu que le gingembre est une culture épuisante. De même, des producteurs affirment que la production du gingembre avec les engrais minéraux réduit la durée de conservation et accélère la putréfaction des rhizomes. Par ailleurs, les producteurs qui utilisent les engrais minéraux ne suivent aucun itinéraire technique établi car les périodes d'application et les doses sont très variables d'un producteur à un autre. En réalité, les besoins en fertilisants sont relatifs aux cultivars, le type de sol et les conditions climatiques (Parthasarathy, 2012). Les dosages (Kg/ha) d'éléments minéraux en vogue dans les différents Etats de l'Inde sont 36 – 225 N : 8 – 50 P : 40-166 K. Au Nigeria et dans la partie occidentale indienne par exemple, les doses recommandées sont respectivement 105 : 60 : 105 (Okwuowulu, 2005).

Selon le besoin d'utilisation exprimé, les producteurs du gingembre de la zone d'étude font la récolte sur une période de 5 à 7 mois après la levée. Un léger décalage de cette période est observé au Burkina Faso où en fonction du besoin d'utilisation, la récolte se fait sur une période de 3 à 7 mois après la levée (Nandkangré, 2016). Cette différence se justifie par le fait que les cultivars en production dans ces pays ne sont pas les mêmes voire même des conditions climatiques qui ne concordent pas. Au Nigéria par exemple, la maturité a lieu après 7 à 8 mois selon qu'il s'agisse du gingembre noir ou jaune respectivement (Okwuowulu, 2005). En effet, le gingembre peut être utilisé comme légume. Dans ce cas, les rhizomes sont récoltés à partir du sixième mois. Mais pour obtenir des rhizomes susceptibles de servir à la préparation de gingembre sec, la récolte a lieu après huit mois (Jayashree et al., 2012). Dans la zone d'étude, la récolte se fait à la fin du huitième mois où les feuilles jaunissent et les tiges se détachent. Mais le meilleur moment de récolte se situe au septième mois selon Ramana et al. (2003). Il s'agit là, de la période où les rhizomes présentent une forte quantité d'oléorésine. Enfin, pour la protection du matériel végétal et la conservation de son essence génétique, les méthodes de conservations mises en place par les producteurs dans la zone d'étude sont très simples et n'impliquent guère l'usage de produits chimiques. Ces techniques se justifient par le fait que leur application favorise les producteurs qui ont recours à la conservation des rhizomes sur de longues périodes. Ce constat est rapporté par Hiremath (2006) lorsqu'il affirme que les producteurs n'ont recours à aucun produit chimique dans la conservation de leurs rhizomes malgré qu'ils soient susceptibles d'attaque parasitaires et de maladies. Les méthodes de conservation observées dans la zone d'étude sont la conservation sur pieds, la conservation dans une fosse, etc. Pour Parthasarathy (2012), la quantité de rhizome détermine le mode de conservation. Les producteurs ajustent la taille de la fosse, située à l'ombre, en fonction de la quantité de gingembre à stocker. Placés dans cet espace et conservés à une température comprise entre 22 et 25 °C, les rhizomes maintiennent leur capacité germinative et leur vigueur (Parthasarathy, 2012). Une autre méthode de conservation consiste à laisser les rhizomes en terre en les recouvrant d'un paillage épais afin de les protéger des rayons du soleil.

Au-delà de tout, les rhizomes font souvent objet d'attaque par des pathogènes tels que *Pseudomonas solanacearum* et *Phythium sp* (Hiremath, 2006).

#### 4.3. Destination des produits de récolte

Le gingembre produit dans la zone d'étude est principalement destiné à la commercialisation. La deuxième destination est l'usage personnel. Dans les deux cas, les rhizomes sont sollicités sur plusieurs plans : gastronomique, médicinal, cosmétique etc. Ces sollicitations sont liées aux nombreuses vertus de l'espèce. Les rhizomes font aussi objet de divers usages dans les autres pays où ils sont produits. En effet, le gingembre est reconnu pour ses vertus médicinales et utilisé dans le traitement de plusieurs affections telles que le rhume, la constipation, les nausées, les hémorroïdes, les angines, les maux de ventre et la toux. Il occupe une place importante dans la pharmacopée chinoise et est

employé pour soigner de nombreuses maladies (Vendruscolo et al., 2006). Au Nigéria, Okonta et al. (2008) soulignent que la majorité de la population l'intègre dans divers mets et l'utilise pour soulager les troubles gastro-intestinaux. Enfin, Zheng et al. (2008) rappellent que le gingembre était déjà cultivé dans les régions tropicales d'Asie depuis l'Antiquité pour traiter le rhume, la fièvre, les troubles digestifs et stimuler l'appétit.

#### 5. Conclusion

Au terme de cette étude sur l'identification et la description des systèmes culturels du gingembre au Bénin, il revient de retenir que la pratique de la culture du gingembre se fait dans les trois zones climatiques où la pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 900 et 1200 mm. La mise en place de la culture présente des particularités sur le plan climatique et celui pédologique voire la force physique. Elle se pratique sur de petites surfaces, aux abords de cours d'eau ou en terre ferme. Les moyens de production restent rudimentaires avec comme corollaire une faible productivité. Les facteurs de productivité du gingembre sont la qualité et la quantité de rhizomes semences. L'analyse du système culturel du gingembre à l'état montre que ce dernier a des limites. Nombreux facteurs justifient les restrictions liées à la pratique de la culture du gingembre au Bénin au nombre desquels on a le manque d'appui technique pour la pratique de la culture, exigences climatiques de la plante et la pénibilité du travail par rapport à sa rentabilité. Il se dégage alors qu'une meilleure connaissance des différents systèmes culturels en association avec la technologie et de surcroît, la mise en place d'une politique agricole dédiée au gingembre permettrait de mieux valoriser la culture du gingembre au Bénin. Il va donc de ce pas que des études supplémentaires devront être menées au tour de la préservation des ressources phytogénétiques du gingembre afin de mieux connaître les différents cultivars en production sur l'ensemble du territoire nationale.

#### Contribution des auteurs

Tous les auteurs ont collaboré à la réalisation de ce travail. KGZ a conçu l'étude, rédigé le protocole et rédigé la première ébauche. DM a révisé le protocole et a corrigé le manuscrit. ADJ et AC ont procédé à une relecture du manuscrit. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit. Par ailleurs, les auteurs assument l'originalité de cet article et confirment que ledit article ne fait objet d'aucune évaluation dans une autre revue.

#### Conflit d'intérêt

Les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt

#### Éthique

Les auteurs déclarent que cet article n'enfreint aucune norme de l'éthique.

#### Références

Akbadian, A., Golian, A., Ahmadi, A.S., & Moravej, H. (2011). Effects of ginger root (*Zingiber officinale*) on egg yolk cholesterol, antioxidant

- status and performance of laying hens. *Journal of Applied Animal Research*, 39 (1) : 19-21.
- Akoegninou, A., van der Burg, W.J., & van der Maesen, L.J.G. (2006). Flore analytique du Bénin. Cotonou et Wageningen, 1063 p
- Azam, R., Jabeen, A., Alam, T., Mushtaq, S., & Mohmad S. H. (2014). Zanjabil (*Zingiber officinale*) : A review. *Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation*, 3 (4), 278-282.
- Colleen, N.A.S., Bailey-Shaw, Y.A., Hibbert, S., Green, C., Smith, A.M., & Williams, L.A.D. (2012). Characterization of cultivars of Jamaican ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) by HPTLC and HPLC. *Food Chemistry*, 131 (4), 1517–1522.
- Ghosh, A.K., Sarkar, P., & Mahmud, M.D.A.K. (2011). Gingerol might be a sword to defeat colon cancer. *International Journal of Pharma and Bio Sciences*, 2 (1), 816-827.
- Hiremath, R.C. (2006). *Micropropagation of ginger (Zingiber officinale* Rosc.). (Master's thesis, University of Agricultural Sciences, Dharwad). 40 p
- Jatoi, S.A., Kikuchi, A., Mimura, M., Yi, S.S., & Watanabe K.N. (2008). Relationship of Zingiber species and genetic variability assessment in ginger (*Z. officinale*) accessions from ex-situ genebank, on-farm and rural markets. *Breeding Science*, 58, 261-270.
- Jayashree, E., Visvanathan, R., & John, Z. T. (2012). Quality of dry ginger (*Zingiber officinale*) by different drying methods. *Journal of Food Science and Technology*, 51: 3190-3198. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0823-8>
- Parthasarathy, V.A., Srinivasan, V., Nair, R.R., Zachariah, T.J., Kumar, A., & Prasath D. (2012). *Ginger: Botany and Horticulture*. Indian Institute of Spices Research, Indian Council of Agricultural Research. India, Kerala, 14p
- Rafie, A.R. Olczyk, T. (2003). Hydroponic production of fresh ginger roots (*Zingiber officinale*) as an alternative method for South Florida. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 116 : 51-52.
- Singh, G., Kapoor, I. P. S., Singh, P., Heluani, C. S., Lampasona, M. P., Catalan, C. A. N. (2008). Chemistry, antioxidant and antimicrobial investigations on essential oil and oleoresins of *Zingiber officinale*. *Food and Chemical Toxicology*, 46 : 3295–3302.
- Vendruscolo, A., Takaki, I., Bersani-Amado, L. E., Dantas, J. A., Bersani-Amado, C. A., & Cuman, R. K. N. (2006). Anti-inflammatory and antinociceptive activities of *Zingiber officinale* Roscoe essential oil in experimental animal models. *Indian Journal of Pharmacology*, 38 (1) :58-59.
- World Ginger Production by Country. (2025, January 15). AtlasBig.com. <https://www.atlasbig.com>
- Zheng, Y., Liu, Y., Ma, M., & Xu, K. (2008). Increasing in vitro microrhizome production of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe). *Acta Physiologia Plantarum*, 30 : 513-519.
- Zimazi, K. G., Montcho, D., Agbo, R. I., Agui-Daho, J., Missihoun, A., & Agbangla, C. (2022). Ethnobotanical survey and agro-morphological characterization of ginger (*Zingiber officinale* Rosc., Zingiberaceae) Kandianan, K., Parthasarathy, U., Krishnamurthy, K.S., Thankamani, C.K., & Srinivasan, V. (2009). Modeling individual leaf area of ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) using leaf length and width. *Scientia Horticulturae*, 120 : 532–537.
- Météo-Bénin. (2023). Revue climatique annuelle 2023. Agence Nationale de la Météorologie du Bénin. <https://www.meteobenin.bj>
- Nandkangre, H. 2016 : Caractérisation génétique et identification de variétés de gingembre (*Zingiber officinale* Rosc.) adaptées au système de production au Burkina Faso. Thèse doctorale, Université ouaga 1 pr. Joseph Ki-Zerbo, Burkina Faso 115 p.
- Nayak, S., Naik, P. K., Acharya, L., Mukherjee, A.K., Panda, P.C., & Das P. (2005). Assessment of genetic diversity among 16 promising cultivars of ginger using cytological and molecular markers. *Z. Naturforsch*, 60c, 485-492.
- Nguehdama, H.O.H., Ndam, J.P. (2021). Ginger cultivation and production systems in the Vina Department: The case of Vina-Ouest (Adamaoua Region). Paper presented at the *LOREXP International Conference*, April 20-23, 2021, Ngaoundéré, Cameroon.
- Okonta, J.M., Uboh, M., Obonga, W.O. (2008). Herb-drug interaction: A case study of effect of ginger on the pharmacokinetics of metronidazole in rabbit. *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 70 : 230-242.
- Okwuowulu, P. A. (2005). Ginger in Africa and the Pacific Ocean Islands. In P. N. Ravindran & K. N. Babu (Eds.), *Medicinal and aromatic plants-Industrial profiles: Ginger, the genus Zingiber*. CRC Press (pp. 279-304)
- cultivars in South Benin. *Annual Research & Review in Biology*, 37 (11), 30-42. DOI : 10.9734/ARRB/2022/v37i1130545



## Roadside invasive *Hyptis suaveolens* (L.) Poit, 1806) colonies green energy potential in the soudano-guinean regions of Benin

Felicien Amakpe<sup>1</sup>, Moussa SAVADOGO<sup>2</sup>, Honore S. BIAOU<sup>3</sup>, Macaire Bienvenu AGBOMAHENA<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ministère du Cadre de Vie et des Transports en Charge du Développement Durable. Direction Générale des Eaux, Forêts et Chasse. Email : [famakpem@hotmail.com](mailto:famakpem@hotmail.com)

<sup>2</sup>Institut de Recherche en Sciences Appliquées et Technologies (IRSAT) / Centre National de Recherche Scientifique et Technologies ( CNRST) Ouagadougou, Burkina Faso. [msirmean@gmail.com](mailto:msirmean@gmail.com)

<sup>3</sup>Laboratory of Forestry and Ecology, University of Parakou, Republic of Benin. Email [hbiaou@gmail.com](mailto:hbiaou@gmail.com)

<sup>4</sup>Laboratoire d'Electrotechnique et d'informatique appliquée LETIA, Université d'Abomey- Calavi. Email : [agbomac@yahoo.fr](mailto:agbomac@yahoo.fr)

### Abstract

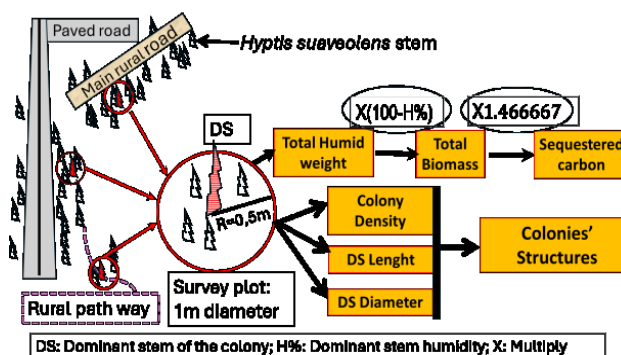
Invasive species pose significant challenges to biodiversity and the community. Mitigation strategies include eradication attempts and biomass harvesting without integrating the invader into the resource chain. In the Republic of Benin, *Hyptis suaveolens* is a nationwide invasive plant species that develops in pure colonies in many ecological areas, including roadsides. This research evaluated the biomass and sequestered carbon potentials of roadside colonies in the soudano-guinean regions of Benin. Main managed roads, main rural roads, and rural pathways, located in the department of Zou, were assessed using 1m diameter circular plots around the dominant stem of the colonies during the dry season (February & March) of 2024. The 5cm above-ground humid weight of the stems on the plots and their humidity were measured and converted into dry matter (biomass) per road category. The corresponding sequestered Carbon was determined by converting the biomass to sequestered Carbon based on the photosynthesis chemical reaction. These roadside *Hyptis suaveolens* colonies produce  $7843.11 \pm 320.86$  kg/ha dry matter per year, corresponding to  $11505.85 \pm 469.44$ kg/ha of sequestered carbon from an average  $18.49 \pm 7.99$  stems/m<sup>2</sup>. The eastern parts had the lowest biomass productivity, while the south had the highest biomass potential. The roads had similar stem density. Rural pathways had robust stems and bore the highest biomass, as well as sequestered carbon. The invasive plant produces high biomass in the soudano-guinean regions of Benin. However, its valorization for green energy requires deeper investigation to prevent worsening its spread and impacts on vulnerable ecosystems.

Key words: Alien species, biodiversity, biological invasion, green energy, transport.

### Highlights

- *Hyptis suaveolens* is an invasive plant of great concern in most tropical areas
- It thrives in pure colonies along roadsides and fallows in the Republic of Benin
- Biomass assessment of the invader was performed in Benin soudano-guinean regions
- *Hyptis s.* roadside colonies had high biomass productivity and sequestered carbon
- Green energy-based technologies will help mitigate its invasion in tropical areas

### Graphic abstract



Corresponding author: Felicien AMAKPE,

Received in Apr 2025 and accepted in July 2025

E-mail address: [famakpem@hotmail.com](mailto:famakpem@hotmail.com)

### 1. Introduction

The worldwide biodiversity is threatened by thousands of alien invasive species. But relevant impact studies were conducted on less than 200 species, and the situation of the African countries is poorly documented even in protected ecosystems (Pysek et al., 2013). Invasive species seriously jeopardize the quality of social, economic, and environmental systems through food insecurity and social conflicts they generate (Goss

et al., 2014). The specific impacts of invasive species on the social tissue are difficult to assess as their effects are amplified by the vicious cycle of climate change and other social challenges (Mainka & Howard, 2010). According to Williamson (1996), invasion occurs when ecological effects on other species or ecosystems exist, or when human society is subjected to measurable direct or indirect harm from the proliferation of a species against the native ones. As such,

many social structures find the contributions of nature and quality of life hindered by the direct actions of invasive species or by their different management strategies. Others are impacted through the costs they incur due to their legal responsibilities, while collateral-impacted actors lose value as a result of the indirect consequences of invasive species or their management (Hulme, 2009; McGeoch et al., 2023). Besides these complex negative impacts, reinforcing the invasive added values will help improve the livelihood in cooperation with the impacted stakeholders (Díaz et al., 2015). The great challenges in implementing public policy, legislation and regulatory mechanisms to protect the confusing affected goods and services by invasive species (McGeoch et al., 2023) make it difficult to i) operationally quantify their case-by-case effects on the society and ecological entities and ii) defend the relevant required resources for their efficient control in many parts of the world. However, the issues of invasive species are still poorly addressed in terms of tangible actions at national, regional, and international levels (Pimentel et al., 2005; Diagne et al., 2021).

The common approaches in combating invasive species are eradication attempts that target removing the invasive species using chemical, mechanical, and biological controls. Although voices are raised against investing in the integration of invasive species into the resource chain of the invaded entities, social adaptation includes valorization as bioenergy and the development of a carbon sequestration economy (Harvey et al., 2010; Howard & Pecl, 2019). In the Republic of Benin and many invaded areas, numerous technologies are developed by local communities (Aboh et al. 2017), and mitigation strategies should fully integrate these approaches to control the invasion.

The concept of native versus alien deeply depends on the history of human migrations and activities (Carthey & Banks, 2012; Hardisty et al., 2019). This leads to a huge worldwide data gap on the spatial delineation of the edges of native species and invaded habitats. Despite of these knowledge gaps on invasive species distribution and their impacts, the international community is increasingly defending the establishment of synergy policies between human health, agriculture, forestry, fisheries and environment sectors at all levels to ensure that “Measures are in place to manage pathways to prevent the introduction and establishment of invasive alien species” (target 15.8 of the sustainable development goals). Through the target 6, of the decision 15/4, the Kunming-Montreal Biodiversity framework of the Convention on the Biodiversity (CBD), also sets guiding Principles for the “prevention, introduction, eradication, and mitigation of impacts of alien species” that threaten ecosystems, habitats, or species (<https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-15/cop-15-dec-04-en.pdf>).

In the Republic of Benin, there is no relevant, exhaustive inventory on invasive species and their impacts. But 14 plant and animal species are recognized as alien invasive species, among which *Hyptis suaveolens* L. Poit, a Lamiaceae is of great concern (Fourth national report on Biodiversity of Benin). It is a small annual or perennial plant originating from tropical America, and the manner in which it was introduced and successfully established throughout tropical Africa has not been clearly elucidated (Hutchinson & Daziel, 1963; Raizada, 2006).

According to Oumorou et al., (2010), it is a serious pasture degradation factor. In addition to its high insect repellent properties, fire and drought resistance, it is a high seed-producing plant. It also produces a large amount of nectar (Amakpe et al., 2024), which efficiently distracts pollinators from native species, leading to the limited seed production of the associated species and its rapid dominance over them (Tiedeken et al., 2016; Brett et al., 2024). These successful biological and ecological adaptations help it establish in pure colonies in old fallows, old carries and roadsides in the entire Republic of Benin (Aboh et al., 2017).

Almost no active mitigation plan is applied in the country against the plant, except some stem recuperation for building fences and the use of leaves as repellent against mosquitoes (Johnson et al., 2020; Enagnon et al., 2024). Deeper investigations are then still required to determine the expected harvestable biomass for more intensive extraction technologies. Roadside micro ecosystems determine *Hyptis suaveolens* colonies' characteristics, which are also impacted by the dominant effect of the most vigorous plant (Frieswyk et al., 2007; Chen et al., 2024). These investigations set out to determine if the total *Hyptis suaveolens* biomass in an area is determined by the road type and the most dominant stem in the soudano-soudanian areas in Benin. Using a plant survey in the entire Zou department, we i) determined the expected biomass and sequestered carbon of the *Hyptis* colonies along the different road categories and ii) established the on-field biomass quantification of the colonies.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study area and survey plots establishment

The study area was the central parts of the Republic of Benin (figure 1), which covers the Zou department. It is a transitional climatic zone between the Guinean and Soudanian climate with an average rainfall of 900 mm per year during 74 rainy days (ASECNA, 2021). The vegetation consists of degraded savannahs dominated by traditional palm groves and crop-fallow mosaics. The department hosts nine districts, which are interconnected with international, national, and local roads of different standards that bear specific roadside vegetation and *Hyptis suaveolens* colony patterns.

For the investigations, only colonies of at least 5 m length and 4 m width or irregular colonies of at least 8 m diameter were considered along a transect following the three main road categories of the department. The research targeted the biomass production and carbon sequestration potential of the plant. Thus, the investigations were conducted in the heart of the dry season (February and March) in 2024 when the leaves of the plant had all fallen off the stem. Only colonies that were not burnt were also considered along the following road types or sites. In order to avoid border effects, the survey plots were set beyond the runoff line bordering the traffic lanes. Colonies that are impacted by roadside residents' activities in build-up areas or in contact with crops were also avoided. The following road categories were analysed (figure 1):

- R1: Main national or departmental roads: termed main managed roads, they are made up of paved and unpaved managed roads;
- R2: Main rural roads: they are roads that are practicable all year-round, which connect R1 to the villages. They are termed main rural roads.
- R3: Rural footpaths and other open areas: they are roads connecting the village area to farms (termed rural pathways).

The survey plots were separated from each other by a minimum distance of 5 km till the end of the road or the exit point from the department. The survey plots were set around the dominant plant stem, which is the most vigorous plant of the colony.

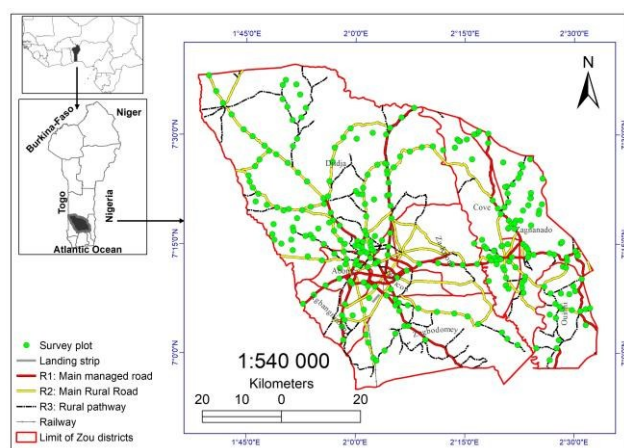


Figure 1 Survey plots location

## 2.2 Data collection

The survey plots were first described by the general conditions of the colony, such as its geographic coordinates and the road category. A circle of 1 m diameter was established around the dominant stem, and its relative humidity ( $H\%$ ) was recorded at 5 cm above the ground with an electronic humidimeter, which was first calibrated according to the manufacturer's instructions. The lowest diameter ( $D_0$ ) of the dominant plant was also measured with a calliper at the same section before it was cut at 5 cm above the ground. Once cut, its total weight ( $WT$ ) with all the branches it bore was recorded using an electronic scale before it was carefully cleaned of all its branches using pruning shears. The total weight ( $W_0$ ) of the main branch was measured using the same scale, and its length ( $L_0$ ) using a tape. The lengths of each of the first four branches of the main stem ( $L_1, L_2, L_3, L_4$ ) were also taken using a tape graduated in centimeters. The remaining stems of the survey plot were finally carefully cut at 5 cm above the ground and weighed ( $W_t$ ) using the same scale (figure 2).

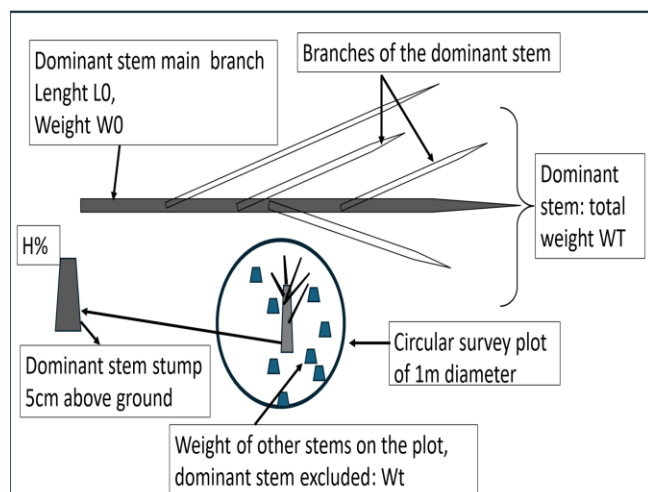


Figure 2 Measured parameters on the colonies per survey plot

$L_0$ : length of the main branch of the dominant stem of the plot

$W_0$ : humid weight of the main branch of the dominant stem of the plot

$WT$ : total humid weight of the dominant stem

$W_t$ : Weight of the remaining plant stem of the plot 5 cm above the ground

## 2.3 Data analysis

The collected information from the surveyed plots was compiled into a database, and statistical analyses were performed using Statistix. The accurate geographic coordinates of the surveyed plots were registered and projected in the official shapefile of the Zou department using ArcMap version 10.3.1. This helped attribute each point to its corresponding administrative district of location and discard the plots that fell outside the targeted geographic borders.

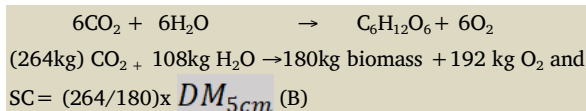
A descriptive analysis was first conducted on the lengths, weights, and relative humidity at the department, district, and road type levels. The survey plots were also submitted to the analysis of variance based on the road categories and the districts. To determine the environmental factors that best explain the differences between the survey sites and how the plots were grouped, a discriminant factorial analysis was conducted on the road type, the lengths, weights, the stem relative humidity, the number of stems on the plot, and the district of location. A correlation analysis was done to establish an allometric relation between the different factors. This helped determine the most relevant factors influencing the on-the-field productivity of *Hyptis suaveolens* colonies. The significance of the statistical analyses was set at 5 %.

The combination of correlations, factorial, and ANOVA analyses helped group the survey plots in homogeneous categories. These

categories were characterised using the total dry matter production of the colonies.

The colony biomass per ha was calculated by converting the humid weight to dry matter per ha (equation A). The sequestered carbon of the colony was determined from the photosynthesis chemical reaction that converts the carbon dioxide into biomass (Manglili, et al., 2019; Muthmainnah et al., 2024) as indicated in equation (B)

$$DM_{5cm} = \sum_1^n \frac{(1 - Hi\%)(w_{0i} + w_{Ti})}{Sp} \quad (A)$$



Combining equations (A) and (B), the total sequestered carbon (TSC<sub>5cm</sub>) per geographic space or road category was calculated using the following equation (C)

$$TSC_{5cm} = 1.466667x \sum_1^n \frac{(1 - Hi\%)(w_{0i} + w_{Ti})}{Sp} \quad (C)$$

DM<sub>5cm</sub>: Total biomass 5 cm above ground (kg/ha)

Hi %: Relative humidity of the main dominant stem, 5 cm above ground

W<sub>oi</sub> = Total humid weight of the dominant stem of the plot i, all branches included (kg)

W<sub>Ti</sub>: Total humid weight of the remaining stems on the plot i (kg)

Sp: survey plot area in ha (=0,0000785 ha).

TSC<sub>5cm</sub>: Total annual sequestered carbon, 5 cm above ground (kg)

SC: sequestered carbon in the chemical photosynthesis reaction (kg)

The biomass and the corresponding sequestered carbon of the colony were determined from the total biomass of the dominant stem, considering the proportion it represented at each location and road category (equations D and E). The same operation helped determine the corresponding biomass and total sequestered carbon from the main branch of the dominant stem of the colony (equations F and G).

|                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $BT = (100 - H\%) \frac{WT}{Pt0\%} \quad (D)$ <p style="text-align: center; margin: 10px 0;">And</p> $TSC = (1.466667)(100 - H\%) \frac{WT}{Pt0\%} \quad (E)$ | $BT = (100 - H\%) \frac{WLO}{PL0\%} \quad (F)$ <p style="text-align: center; margin: 10px 0;">And</p> $TSC = (1.466667)(100 - H\%) \frac{WLO}{PL0\%} \quad (G)$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

BT: Total Biomass in kg/ha

TSC: Total sequestered carbon in kg/ha

WT: Total humid weight of the dominant stem in kg;

H%: Relative humidity of the dominant stem at 5cm above ground

Pt0%: Proportion, the dominant stem represented per site or road type

PL0% Proportion the first branch of the dominant stem represented per site or road type

WLO: Total weight of the dominant stem in kg.

stem did not statistically vary between the location and the road categories (P>0.05).

The post hoc tests for the road type factor showed that the total weights of the main managed roads were similar to those of main rural roads but statistically different from rural pathways (P=0.022).

The correlation analyses (figure 3) indicated that the total biomass was highly correlated with the total weight of the dominant stem (P=0.000, R<sup>2</sup>=0.66) and the total weight of the main branch of this dominant stem (P=0.000, R<sup>2</sup>=0.78). But it was poorly correlated with the diameter of the dominant stem at 5 cm above ground and the plant density. The total biomass and the corresponding sequestered carbon were determined by the proportion of the total dry matter of the dominant stem of its main branch. These values also depended on the location and the road type. Table 1 summarises the values of each factor per district and road type and the specific quantification conditions.

The total dominant stem dry matter represented an average of 10.14 ± 8.9 % in the entire study area and varied from 1.5 % to 100 %. The lowest values were obtained in the districts of Agbangnizoun, Bohicon, Abomey, Djidja located in the Western parts of the department. The districts of Zakpota, Ouinhi, Cove, and Zangnanado bore the highest

### 3. Results

#### 3.1. Determinants of *Hyptis suaveolens* colonies' potential

The multifactorial analysis of variance indicated that the differences in the measured variables are significant between the location of collection (P=0.000), while their differences were not significant when combining the bearing road type (P>0.05). The overall tests of univariate models indicated that the differences in the dominant stem relative humidity, diameter, and total weight were highly significant between the location and the road categories (P=0.000). This was the same for the length of the fourth and third branch of the most dominant stem (P=0.000 and P=0.035). On the other hand, the number of recorded stems per plot, the total length of the dominant stem, and the lengths of the first and second branches of the dominant

values of the proportion of the most vigorous stem of the colonies. This factor also varied a lot upon the road type.

Regarding the dominant stem of the main branch total dry matter, the departmental average value of the conversion factor was  $8.70 \pm 5\%$ . This factor, in contrast to the dominant total weight, turned out to be

5.70 % for the three main road types. Not all roads and districts had colonies around every type of road, and the conversion factor of the missing roadside colonies was attributed to the average value of the bearing district (table 1 and table 2).

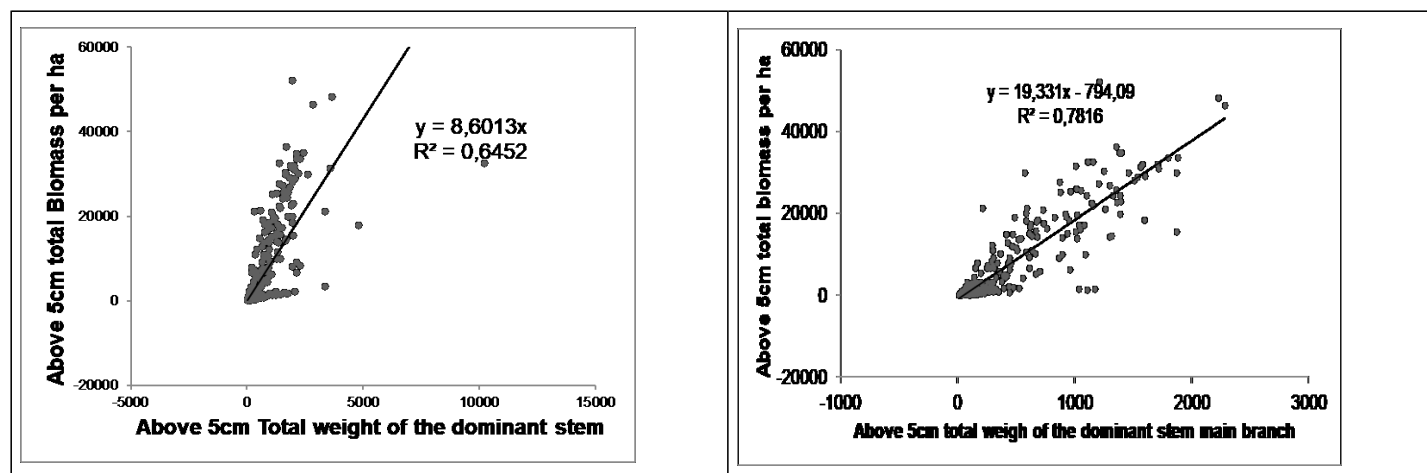


Figure 3 Correlation analysis between the dominant stem total weight, the main branch weight, and the colony total biomass

### 3.2 Spatialisation of *Hyptis suaveolens* colonies' productivity

*Hyptis suaveolens* colonies produced an estimated  $7843.11 \pm 320.86$  kg/ha dry matter per year in the Soudano-guinean areas of Benin, corresponding to  $11505.85 \pm 469.44$  kg/ha of sequestered carbon from an average  $18.49 \pm 7.99$  stems/m<sup>2</sup>. The district of Ouinhi located in the East had the lowest biomass production (BT = 483.56 kg/ha and TC = 709.38 kg/ha) with a density of  $16.61 \pm 5.66$  stems/m<sup>2</sup> while the district of Zogbodomey had the highest productivity (BT = 15686.26 kg/ha and TC = 23011.74 kg/ha) with a density of  $19.16 \pm 9.25$  stems/m<sup>2</sup>. The dominant stems in the department were  $2.25 \pm 0.48$  m in length with a diameter of  $1.64 \pm 0.79$  cm. The longest dominant stems were located in the district of Zangnanado, which also bore the stems of higher diameters. The average stem humidity was  $70.32 \pm 33.58\%$ . It varied from  $40.36 \pm 38.38\%$  in the district of Zogbodomey to  $96.14 \pm 4.38\%$  in the district of Ouinhi located in the Eastern parts.

As far as the production per road categories were concerned, main managed roads had the lowest biomass production (BT = 4665.03 kg and TC = 6842.05 kg/ha). The colony density was  $18.62 \pm 8.18$  stems/m<sup>2</sup> along these roads, while main rural roads had the highest biomass of 10976.41 kg/ha and 16102.39 kg/ha of sequestered carbon, with  $18.71 \pm 7.54$  stems/m<sup>2</sup>. Rural pathways had the longest stems. Main rural roads had the driest stems ( $59.24 \pm 37.09\%$ ) while rural pathways and main managed roads had the highest humidity values (78.22 and 80.52 % respectively). The

different parameters per road and geographic areas are summarized in table 2.

The discriminant and factorial analysis grouped the plots in three main categories, which were 66.27 % discriminated by the dominant stems and the road categories (figure 4). The dominant stem characteristics represented by the factorial axis (FACT 1) explained alone 47.2 % of the difference between the three categories, while the road type and the remaining stems on the plot contributed for 19.1 %. As summarised on figure 5, the three geographic types of colonies were:

- The south region represented by the district of Zogbodomey. This region had the highest biomass production but the thinnest dominant stems, which were also shorter. It had the driest (40.36 %) and most dense colonies that supported their higher biomass and sequestered carbon potentials as described above. Regarding the road contribution, rural pathways in those areas had the lowest density but more long and large stems, while managed rural roads had the highest biomass production (23282.67 kg/ha) and sequestered carbon (34155.68 kg/ha).
- The Western areas, including the districts of Abomey, Agbangnizou, Bohicon, and Djidja. This area had intermediate biomass production of  $11841.63 \pm 11326.7$  kg/ha, corresponding to  $17371.68 \pm 16616.3$  kg/ha of sequestered carbon and a density of  $17.7 \pm 6.7$  stems/m<sup>2</sup>. The dominant stem represented 8.97 % of the total biomass of the colony, which had a relative humidity of  $57.37\% \pm 30.86\%$ . The dominant stem measured  $2.25 \pm 0.47$  m in length and

1.26±0.5 cm in diameter. This area bore uniform colonies with a symmetric diametric structure around 1 to 1.5 cm in diameter. Main managed roads in this region had the highest biomass productivity (25820,74 kg/ha). The dominant stems of rural pathways and main managed roads had similar lengths and diameters. But the highest colony densities were obtained at main rural roadsides (19.9 stems/m<sup>2</sup>).

the group of plots located in Eastern parts, including the districts of Zangnanado, Zakpota, Ouinhi and Covè. This area had the lowest density and biomass productivity. There was a higher dominance effect of the dominant stem (more than 51.20 % of the total colony biomass), which was also more robust (2.22±0.77 cm diameters and 2.30±0.40 m long). The regions had an average dry matter of 1265.37±3060.16 kg/ha, corresponding to a sequestered carbon of 1856.30+4489.26 kg/ha from a higher density (19.32±9.1 stems/m<sup>2</sup>). It then had the lowest carbon sequestration potential. Main rural roads in these areas had the longest and biggest stems, while the highest colony densities were found at main managed roads (19.49 stems/m<sup>2</sup>). On the other hand, rural pathways had the highest biomass from drier stems.

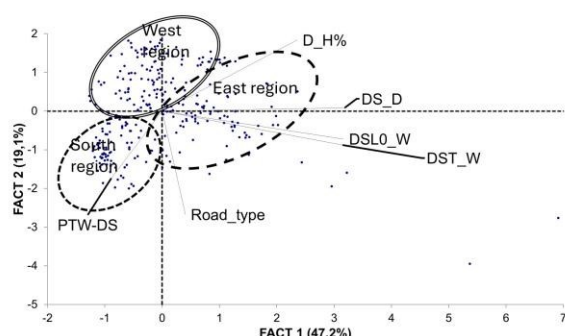


Figure 4 Factorial component analysis of the colonies

PTW-DS: Plot total weight, dominant stem excluded, DST\_W: dominant stem total weight; DSL0\_W: Dominant stem main branch weight; D\_H: dominant stem diameter, 5cm above ground

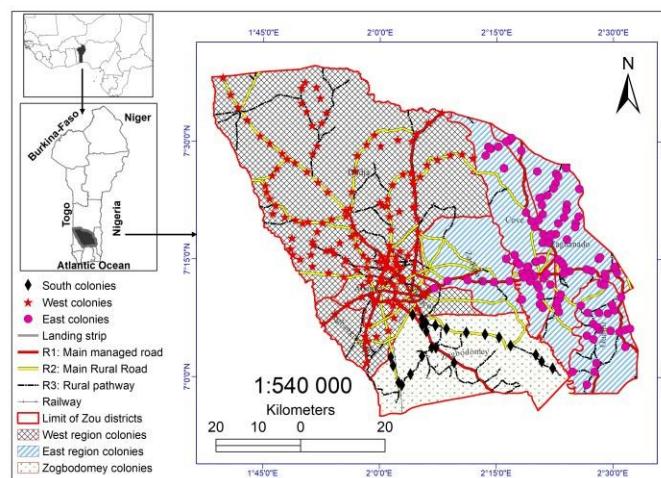


Figure 5 Geographic distribution of *Hyptis suaveolens* colonies in the department of Zou.

### 3.3. Morphologic Structures of the colonies

As indicated in figure 6a and 6b, the roads may only be distinguished when considering small-sized stems of less than 1.5 cm. Above this value, the colonies had the same diametric structure. As far as the total length of the dominant stem (TDS) was concerned (figure 6c), there was a symmetric distribution around 2 to 2.5 m for the entire roadside. Rural pathways had the highest diversity in the length of the main branch of the dominant stems in comparison to main managed roadside colonies. But, as for the diameter, most stems of the southern region were less than 1 m. They were followed by the stems of the West regions, while the East regions were dominated by longer stems of more than 2 m long (figure 6d).

The geographic diametric distribution pattern of the colonies (figure 6) indicated three colony populations with different modes. The district of Zogbodomey, located in the south, had the thinnest stems (1.1±0.5 cm), while the higher diameter ones were obtained in the Eastern part of the department. On the other hand, the length distribution of the stems indicated that the Eastern and Western regions had similar populations with long stems that were distinct from the colonies of the south. The different road types also had a similar distribution shape in which most colonies were 2 to 2.5 m long.

Regarding the density structure of the colonies (figure 6e and 6f), the South region colonies had a trimodal distribution while the colonies located in the West and East had a dissymmetric unimodal distribution. Rural roads had more diversified colonies that showed two modal distribution shapes.

Table 1 Conversion factor per road type and geographic areas.

Red Bold italic values are the average value of the area or type of road. DLO: Weight of the dominant stem main branch, TDS: Total weigh of the dominant stem

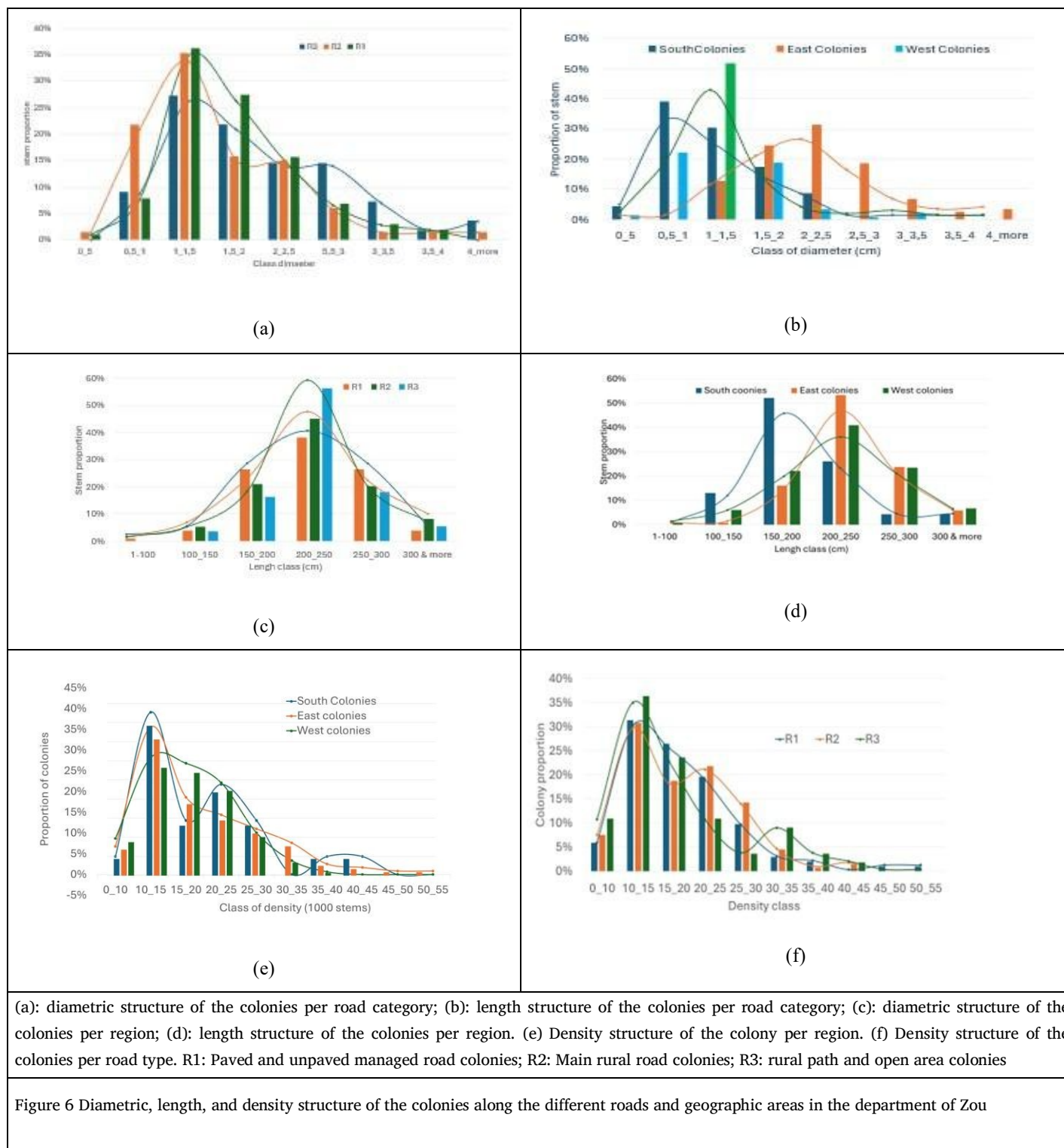
| Location     | General      |               | Main paved and managed roads |            | Rural managed roads |               | Rural pathways and open areas |               |
|--------------|--------------|---------------|------------------------------|------------|---------------------|---------------|-------------------------------|---------------|
|              | DLO factor   | TDS factor    | DLO factor                   | TDS factor | DLO factor          | TDS factor    | DLO factor                    | TDS factor    |
| Abomey       | 4.30%        | 8.16%         | 9.46%                        | 18.47%     | 4.31%               | 6.28%         | 9.23%                         | 100.00%       |
| Agbangnizoun | 4.09%        | 6.41%         | 9.68%                        | 15.54%     | 6.35%               | 9.53%         | <b>4.09%</b>                  | <b>6.41%</b>  |
| Bohicon      | 7.26%        | 11.06%        | 7.33%                        | 11.46%     | 7.26%               | 11.06%        | 6.58%                         | 7.41%         |
| Cove         | 26.15%       | 49.51%        | 25.02%                       | 47.37%     | 28.72%              | 53.70%        | 24.14%                        | 46.51%        |
| Djidja       | 5.04%        | 8.86%         | 7.41%                        | 12.11%     | 8.63%               | 16.14%        | 14.55%                        | 35.91%        |
| Ouinhi       | 24.50%       | 49.79%        | 20.14%                       | 45.64%     | 25.56%              | 48.37%        | 26.25%                        | 59.96%        |
| Zangnanado   | 16.28%       | 42.10%        | 21.67%                       | 51.23%     | 22.99%              | 67.26%        | 23.38%                        | 54.85%        |
| Zakpota      | <b>7.75%</b> | <b>15.48%</b> | 7.75%                        | 15.48%     | <b>7.75%</b>        | <b>15.48%</b> | <b>7.75%</b>                  | <b>15.48%</b> |
| Zogbodomey   | 6.11%        | 9.01%         | 7.02%                        | 14.78%     | 6.91%               | 10.39%        | 6.29%                         | 10.00%        |

Table 2 average values of the colonies' parameter in the Soudano-guinean regions of the republic of Benin

D\_DS: dominant stem diameter; TB\_DS/ha: total biomass of dominant stem; LO\_DS: length of the main branch of dominant stem; DSL0\_W/ha: dominant stem main branch weight per ha; DS\_H %: dominant stem humidity; PTW-DS/ha: total biomass of the plot, dominant stem excluded; TB/ha: total biomass per ha; % DSL0\_W/TB: proportion of the dominant main stem over the total biomass of the plot; % TB\_DS/TB: proportion of the dominant stem total biomass over the total biomass; SC/ha: sequestered Carbon/ha

| Areas      | Road_type | Density ha | D_DS | TB_DS ha | LO_DS | DSL0_W ha | DS_H % | PTW-DS ha | TB ha   | % DSL0_W/TB | % TB_DS/TB | SC_ha   |
|------------|-----------|------------|------|----------|-------|-----------|--------|-----------|---------|-------------|------------|---------|
| Zangnanado | Total     | 196641.6   | 2.4  | 471.1    | 2.4   | 182.1     | 92.40  | 647.9     | 1119.1  | 16.28%      | 42.10%     | 1641.7  |
|            | R_1       | 199575.4   | 2.1  | 458.0    | 2.3   | 181.5     | 94.53  | 449.7     | 907.7   | 21.67%      | 51.23%     | 1331.6  |
|            | R_2       | 200424.6   | 2.8  | 600.6    | 2.4   | 168.2     | 93.20  | 261.5     | 862.1   | 22.99%      | 67.26%     | 1264.7  |
|            | R_3       | 190412.3   | 2.5  | 383.5    | 2.4   | 193.8     | 89.41  | 1172.1    | 1555.6  | 23.38%      | 54.85%     | 2282.1  |
| Zogbodomey | total     | 191636.7   | 1.1  | 1413.9   | 2.1   | 959.1     | 40.36  | 14272.4   | 15686.3 | 6.11%       | 9.01%      | 23011.7 |
|            | R_1       | 235668.8   | 1.4  | 884.4    | 2.4   | 523.0     | 69.27  | 7264.0    | 8148.4  | 7.02%       | 14.78%     | 11953.7 |
|            | R_2       | 174704.3   | 0.8  | 1795.1   | 1.8   | 1262.8    | 20.08  | 19096.0   | 20891.1 | 6.91%       | 10.39%     | 30647.3 |

|              |       |          |     |        |     |       |       |         |         |        |         |          |
|--------------|-------|----------|-----|--------|-----|-------|-------|---------|---------|--------|---------|----------|
|              | R_3   | 76433.1  | 2.2 | 312.1  | 2.3 | 196.2 | 93.00 | 2808.9  | 3121.0  | 6.29%  | 10.00%  | 4578.5   |
| Zakpota      | R_1   | 191082.8 | 1.8 | 291.6  | 2.3 | 146.1 | 80.38 | 1592.6  | 1884.2  | 7.75%  | 15.48%  | 2764.2   |
| Ouinhi       | Total | 166159.0 | 2.0 | 209.9  | 2.1 | 106.4 | 96.14 | 273.6   | 483.6   | 24.50% | 49.79%  | 709.4    |
|              | R_1   | 157961.8 | 2.1 | 214.9  | 2.1 | 92.5  | 96.50 | 327.8   | 542.7   | 20.14% | 45.64%  | 796.1    |
|              | R_2   | 181983.6 | 1.9 | 210.6  | 2.1 | 119.1 | 95.68 | 285.1   | 495.7   | 25.56% | 48.37%  | 727.2    |
|              | R_3   | 121019.1 | 2.1 | 201.3  | 2.0 | 78.9  | 97.33 | 165.8   | 367.1   | 26.25% | 59.96%  | 538.6    |
| Djidja       | Total | 179162.0 | 1.2 | 1148.6 | 2.3 | 653.1 | 53.01 | 11812.5 | 12961.0 | 5.04%  | 8.86%   | 19013.9  |
|              | R_1   | 177790.1 | 1.3 | 506.2  | 2.1 | 340.1 | 72.14 | 5876.4  | 6382.5  | 7.41%  | 12.11%  | 9363.2   |
|              | R_2   | 189209.4 | 1.2 | 1218.8 | 2.3 | 741.3 | 45.17 | 13752.8 | 14971.6 | 8.63%  | 16.14%  | 21963.3  |
|              | R_3   | 142958.2 | 1.4 | 1704.1 | 2.3 | 720.3 | 58.18 | 12067.6 | 13771.7 | 14.55% | 35.91%  | 20203.0  |
| Cove         | Total | 206444.4 | 2.1 | 385.1  | 2.3 | 203.3 | 92.39 | 1536.6  | 1921.7  | 26.15% | 49.51%  | 2819.1   |
|              | R_1   | 198726.1 | 2.2 | 395.0  | 2.4 | 178.7 | 95.28 | 747.8   | 1142.7  | 25.02% | 47.37%  | 1676.4   |
|              | R_2   | 196962.3 | 2.3 | 311.8  | 2.3 | 156.4 | 95.55 | 337.6   | 649.5   | 28.72% | 53.70%  | 952.8    |
|              | R_3   | 224667.1 | 1.9 | 462.8  | 2.2 | 281.2 | 86.04 | 3670.6  | 4133.4  | 24.14% | 46.51%  | 6063.7   |
| Bohicon      | Total | 180891.7 | 1.4 | 597.1  | 1.9 | 441.5 | 63.66 | 7183.1  | 7780.1  | 7.26%  | 11.06%  | 11413.5  |
|              | R_1   | 179759.4 | 1.5 | 580.6  | 2.0 | 417.0 | 66.84 | 6946.1  | 7526.8  | 7.33%  | 11.46%  | 11041.8  |
|              | R_3   | 191082.8 | 0.6 | 745.2  | 1.2 | 662.4 | 35.00 | 9315.3  | 10060.5 | 6.58%  | 7.41%   | 14758.8  |
| Agbangnizoun | Total | 161358.8 | 1.4 | 434.4  | 2.3 | 277.3 | 75.14 | 6346.9  | 6781.2  | 4.09%  | 6.41%   | 9948.1   |
|              | R_1   | 195329.1 | 1.3 | 222.5  | 2.2 | 138.0 | 79.95 | 4520.5  | 4743.1  | 9.68%  | 15.54%  | 6958.1   |
|              | R_2   | 93418.3  | 1.6 | 858.0  | 2.4 | 556.0 | 65.53 | 9999.6  | 10857.6 | 6.35%  | 9.53%   | 15928.1  |
|              | Total | 172884.4 | 1.3 | 826.6  | 2.2 | 436.1 | 69.43 | 9307.5  | 10134.1 | 4.30%  | 8.16%   | 14866.8  |
| Abomey       | R_1   | 151046.4 | 1.4 | 761.0  | 2.3 | 352.3 | 72.54 | 8034.8  | 8795.8  | 9.46%  | 18.47%  | 12903.4  |
|              | R_2   | 197452.2 | 1.1 | 910.5  | 2.1 | 685.2 | 58.32 | 13828.5 | 14739.0 | 4.31%  | 6.28%   | 21622.1  |
|              | R_3   | 331210.2 | 1.2 | 1242.0 | 2.1 | 114.6 | 92.50 | 0.0     | 1242.0  | 9.23%  | 100.00% | 1822.1   |
| Whole area   | Total | 184933.0 | 1.6 | 795.0  | 2.2 | 446.8 | 70.32 | 7048.2  | 7843.1  | 14.63% | 30.92%  | 11505.84 |
|              | R_1   | 186212.1 | 1.6 | 513.0  | 2.2 | 279.0 | 80.52 | 4152.1  | 4665.0  | 13.12% | 26.62%  | 6843.6   |
|              | R_2   | 187155.8 | 1.5 | 992.9  | 2.2 | 602.2 | 59.24 | 9983.5  | 10976.4 | 13.57% | 27.77%  | 16102.4  |
|              | R_3   | 177185.9 | 1.9 | 839.2  | 2.3 | 382.4 | 78.22 | 5320.9  | 6160.1  | 6.21%  | 13.62%  | 9036.9   |



## 4. Discussion

### 4.1 A high biomass potential of the invasive *Hyptis suaveolens*

Our investigations proved that roadside *Hyptis* colonies were strong carbon sequestration units in the soudano Guinean regions of Benin. The colonies' productivity was higher than the total productivity and carrying capacity of the entire Sudano-Guinean areas of Benin, which ranged from 570 to 1140 kg of dry matter per ha, and the crop residues productivity that ranged from 250 to 3490 kg dry matter per ha (Sewade 2017; Djohy et al., 2022). With no care for boosting the plant yields, such high productivity and density may be the consequence of a lack of natural enemies in these ecosystems that characterize most invasive plants (Julien, 2002). In fact, *Hyptis suaveolens* has strong allelochemicals and essential oils that support its resistance against pathogens. It also has a great seed production and high adaptation to poor stations (Raizada, 2006; Padalia et al., 2015). Besides its strong fire resistance (Ibrahima et al., 2021), the particular soil structure and nutrient imbalance that work out from its highly dense root system and fast growth also exhaust native plants or weeds that finally starve (Hawkes et al., 2005; Afreen et al., 2018).

We found that the plant showed a global edaphic and climatic sensibility in the department as most plant species in Benin (Adomou, 2005; Sinadouwirou, 2023). In fact, the south, which benefits from higher rainfall and deeper soils, had a higher productivity. On the other hand, the Eastern region, which benefits from a higher rainfall in Benin, bore the less productive colonies, which were of small diameter and shorter. As the density of the colonies is similar between the different regions and road types, this fact indicates that the colony productivity was mainly determined by the edaphic conditions of the road categories. In these regards, two situations may explain the lower productivity of the Eastern area of the department. These areas are dominated by swamped and flooded areas, which also bear good forest cover (Adomou, 2025; IFN, 2022; Dadi et al., 2024) that limits the establishment of *Hyptis* colonies, which is highly heliophile. On the other hand, these areas are submitted to high agricultural land pressure (Todan et al., 2017; Souberou et al., 2018; Mashoudou et al., 2024). The regular land clearing of the roadside in these regions limits the growth of the plant considered as a weed.

The similarity of the colony's density regardless of the stational conditions also confirmed, as found by Afreen et al., (2018), the strong seedling potential of *Hyptis suaveolens*. This helps the plant establish in thick densities that change the structure and composition of plant communities in the dry tropical areas, where it disrupts the mineralisation procedures and Nitrogen/phosphorus balance on which native plants are built. As such, beyond the direct short-term impacts on the native plants, the invasive progressively transform the entire invaded geographic area in a "foreign" land to the local species leading to a definitive new ecological niche which becomes lethal to the native species (Aboh et al., 2017; Ngobo et al., 2004).

There was also no significant difference between the plant density at the different roadsides. This confirmed, as found by Aboh et al. (2008), the high germination capacity of the seed that didn't change upon the station. Despite the similar density per roadside categories, the colonies of rural pathways had higher productivity due to their greater size. This might be the consequence of the poorer land station of managed roadsides as a consequence of the mechanical removal of the upper rich layer. In fact, during the road management, the upper organic soils are removed, leading to a poor station that limits plant growth. Rural pathways, in addition to the fertile soil available for the invasive plant, are also less prone to erosion and constitute ideal stations in the country where *Hyptis suaveolens* thrive and spread to other regions through seed transportation from wind, runoffs, and human activities.

### 4.2. Valorization as a mitigation strategy

*Hyptis suaveolens* seems to be a free but very bulky vegetal resource available for different potential uses. Based on the average cost of 6 dollars/ton for sequestered carbon on the international market (<https://www.hellocarbo.com/blog/compenser/prix-carbone/>), the average 11.50 Tons/ha of sequestered carbon from this species in soudano-guinean regions of Benin had an average carbon potential of 75.9 dollars/ha. The thousand hectares of pure roadside *hyptis* colonies represent then a strong carbon capital available for the country. The high biomass production from the invasive constitutes also a strong bioenergy and other craft opportunities available in the distribution regions. In this regard, dry stems of the plants are already valued for firewood and other domestic fuel purposes, building fences, and creating crafty material (Johnson et al., 2020; Enagnon et al., 2024).

Other resource for the community is its high nectar sources that yield a great amount of "hyptis honey" in the entire country from November to December (Amakpe et al., 2024). But these great ecological footprints should be confronted to the numerous potential negative impacts of the plant in the invaded areas (McGeoch et al., 2023). In fact, roadside colonies hinder visibility, limit water circulation, making roads, invaded, swampy, and prone to road accidents. The high nectar production of the plant and its precocity also constitute great adaptation strategies that successfully lure pollinators from native plants and limit their seed production (Brett et al., 2024). As such, the plant still constitutes a great challenge to the bee populations and other pollinators in Benin (Seedley, 1985). The different valorization approaches still then require great care in order to prevent the plant spread and establish in vulnerable ecological areas which will make it more complicated to eradicate (Howard&Pecl, 2019; Johnson et al., 2018).

## 5. Conclusions

*Hyptis suaveolens* is a strong dry matter productive plant in the soudano-guinean areas of Benin. It thrives in pure and uniformly dense colonies along roadsides. Such high density associated with its rapid growth. This helps the plant dominate native species, leading to a high biomass production, which may be valued as carbon sequestration and potentially as green energy. But such potentiality should be balanced with the ecological and socio-economic impacts of the species in the invaded areas. Deeper investigations are still needed in larger and more diversified ecological regions to elucidate the edaphic and ecological factors that discriminate the roadside hyptis colonies' productivity. The technical and socio-economic feasibility of the mitigation actions against this species in tropical areas should also be deepened in order not to introduce it into the production system of the country.

## Acknowledgment

The authors thank the National NGO Cercle Nature et Développement, the authorities of the different districts of the Zou department, for their kind cooperation in the data collection.

## Statements & Declarations

### Competing Interests

The authors have no financial or non-financial interests to disclose.

### Author Contributions

All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Felicien AMAKPE. The first draft of the manuscript was written by Felicien AMAKPE and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

## Reference

- Aboh AB, Houinato M, Oumorou M, Sinsin B. 2008. Capacités envahissantes de deux espèces exotiques, *Chromolaena odorata* (ASTERACEAE) et *Hyptis suaveolens* (LAMIACEAE), en relation avec l'exploitation des terres de la région de Bétécoucou (Bénin). *Belgium Journal of Botany* 141 (2), 125-140. <https://www.jstor.org/stable/20794660>
- Aboh BA, Teka O, Djikpo R, Oumorou M, Mensah GA, Sinsin B. 2017: "Topographic and edaphic factors determining *Chromolaena odorata* and *Hyptis suaveolens* invasion of grassland in the Guineo-Congolian/Sudanian transition zone (Benin)." *Journal of Applied Biosciences* 111, 10916-10924. <http://dx.doi.org/104314/jab.v111i1.8>
- Adomou AC. 2005. Vegetation patterns and environmental gradients in Benin: Implications for biogeography and conservation. Wageningen University and Research.
- Afreen T, Srivastava P, Singh H, Singh JS. 2018. Effect of invasion by *Hyptis suaveolens* on plant diversity and selected soil properties of a constructed tropical grassland. *Journal of Plant Ecology* 11(5), 751-760. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtx045>
- Agence de la Sécurité et du Contrôle de la Navigation Aérienne (ASECNA). (2021). Fiche météorologique du Bénin. Agence régionale de Bohicon.
- Amakpe F, Kenali I, Sinsin B. 2024. A Melissopalynologic dynamics appraisal revealed the strategic foraging adaptation of the honeybees (*Apis mellifera* Linnaeus 1758) to the anthropogenic impacts in the Republic of Benin. *Heliyon* 10 (2024) e33753. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33753>
- Ashanti M, Van Nieumenhuysen Y, Egah J, Ogoudou C, Baco NM. 2024. Le spolitiques agrocoles de 2016 à 2021 au Bénin peuvent-elles être appropriées par les acteurs territoriaux ?. *Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture*. 3(3), 2024. DOI : <https://doi.org/10.2021/ab1s5w56>
- Brett MF., Strauss P., van Wyk K., Vaughan IP., Memmott J. 2024. Spillover effects from invasive *Acacia* alter the plant pollinator networks and seed production of native plants. *Proc. R. Soc. B* 291: 20232941. <https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2941>
- Carthey AJR, & Banks PB. 2012. When Does an Alien Become a Native Species? A Vulnerable Native Mammal Recognizes and Responds to Its Long-Term Alien Predator. *PLoS ONE* 7(2), e31804. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031804>
- Chen Y, Wang X, Li M, Liu L, Xiang C, Li H, Guo X. 2024. Impact of trace elements on invasive plants: attenuated competitiveness yet sustained dominance over native counterparts. *Science of the Total Environment* 927, 172292. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172292>
- Dadi R, Yevide SIAY, Vihotogbe R, Avocevou-Ayisso CMA. 2024. État de conservation de la forêt naturelle de Pobè au sud-est Bénin. *Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture* 3(3) :2024. DOI : <https://doi.org/10.2021/v9z7n853>
- Diagne C, Leroy B, Vaissiere AC, Gozlan RE, Roiz D, Jarić I, Salles JM, Bradshaw CJA, Courchamp F. 2021. High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature* 592(7855), 571–576. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03405-6>
- Díaz S, Demissew S, Carabias J, Joly C, Lonsdale M, Ash N, Larigauderie A, Adhikari JR, Arico S, Báldi A, Bartuska A, Baste IA, Bilgin A, Brondizio E, Chan KM, Figueroa VE, Duraipappah A, Fischer M, Hill R, Zlatanova D. 2015. The IPBES Conceptual Framework—Connecting nature and people. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 14, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2014.11.002>

- Amakpe et al.  
Djohy GL., Bouko BS., Idrissou Y, Saliou R, Boni Y, Natta A. 2022 Productivité des pâturages naturels dans le bassin de l'Ouémé Supérieur au Bénin dans un contexte de changements climatiques. *Livestock Research for Rural Development* 34 (9)
- Enagnon BFS, Akpo Y, Boko KC, Seidou AA, Iwaka C, Attakpa E, Alkoiret TI, Mensah G. 2024. Biological Activities and Traditional Use of *Hyptis suaveolens* in Human and Veterinary Medicine: A Review. *Journal of Veterinary Physiology and Pathology* 3(1): 11-19. DOI: 10.58803/jvpp.v3i1.41 .
- Frieswyk CB, Johnston CA, Zedler JB. 2007. Identifying and characterizing dominant plants as an indicator of community condition. *Journal of Great Lakes Research* 33, 125-135. [https://doi.org/10.3394/0380-1330\(2007\)33\[125:IACDPA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3394/0380-1330(2007)33[125:IACDPA]2.0.CO;2)
- Goss EM, Tabima, JF, Cooke DE, Restrepo S, Fr WE, Forbes GA, Fieland VJ, Cardenas M, Grunwald NJ. 2014. The Irish potato famine pathogen *Phytophthora infestans* originated in central Mexico rather than the Andes. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(24), 8791–8796. <https://doi.org/10.1073/pnas.1401884111>
- Hardisty AR, Belbin L, Hobern D, McGeoch MA, Pirzl R, Williams KJ, Kissling WD. 2019. Research infrastructure challenges in preparing essential biodiversity variables data products for alien invasive species. *Environmental Research Letters*, 14(2), 025005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf5db>
- Harvey CA, Dickson B, Kormos C. 2010. Opportunities for achieving biodiversity conservation through REDD. *Conservation Letters* 3(1), 53–61. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2009.00086.x>
- Hawkes CV, Wren IF, Herman DJ, et al. 2005. Plant invasion alters nitrogen cycling by modifying the soil nitrifying community. *Ecol Lett* 8, 976–85
- Howard PL, & Pecl GT. 2019. Introduction: Autochthonous human adaptation to biodiversity change in the Anthropocene. *Ambio* 48(12), 1389–1400. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01283-x>
- Hulme PE. 2009. Trade, transport and trouble: Managing invasive species pathways in an era of globalization. *Journal of Applied Ecology* 46(1), 10-18. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01600.x>
- Hutchinson J, Dalziel JM. 1963. *Flora of West Tropical Africa* (Vol. 2, 2nd edn.). Crown Agents for Overseas Governments and Administrations: London.
- Ibrahima SY, Yaoitcha AS, Lesse P, Aboh AB, Houinato MR. 2021. Effet de l'implantation des souches de *Panicum maximum* var. C1 sur l'invasion de *Hyptis suaveolens* (L.) Poit dans les pâturages naturels au Nord-Béni. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 15(1), 156-168. DOI: <https://dx.doi.org/10.4314/ijbcs.v15i1.14>
- Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture (2025)
- Johnson BA., Mader AD., Dasgupta R., Kumar P. 2020. Citizen science and invasive alien species: An analysis of citizen science initiatives using information and communications technology (ICT) to collect invasive alien species observations. *Global Ecology and Conservation* 21, e00812. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00812>
- Johnson F, Ouossou KR, Kanko C, Tonzibo ZF, Foua-bi K, Tano Y. 2018 Bioefficacité des Huiles Essentielles de Trois Espèces végétales (*Ocimum gratissimum*, *Ocimum canum* et *Hyptis suaveolens*), de la Famille des Labiées dans la lutte contre *Sitophilus zeamais* [Bioefficacy of essential oils of three plant species (*Ocimum gratissimum*, *Ocimum canum* and *Hyptis suaveolens*) of the labiées family in the fight against *sitophilus zeamais*. *Eur J Sci Res.*; 150(3): 273-284 .
- Julien M, 2002. Biological control of tropical weeds with Central and South American origin: current activities by CSIRO Entomology. In: H. Spafford Jacob, J. Dodd, JH Moore (eds). *Proceedings of the 13th Australian Weeds Conference*. pp. 361–5
- Mainka SA, & Howard W. 2010. Climate change and invasive species: Double jeopardy. *Integrative Zoology* 5(2), 102–111. <https://doi.org/10.1111/j.1749-877.2010.00193.x>
- Manglili N, Nurkin B, Paembonan SA., Millang S, Restu M, Larekeng SH. 2019. The potential of carbon deposits to residual stand in Tongkonan lembang Buri'garden of Tana Toraja. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 343(1), 012061. IOP Publishing. Doi:10.1088/1755-1315/343/1/012061
- McGeoch MA, Ordóñez A, Howard PL, Groom QJ, Shrestha BB, Fernandez M, Brugnoli E, Bwalya B, Byun C, Ksenofontov S, Ojaveer H, Simberloff D, Mungi NA. and Rono B. 2023. Chapter 6: Governance and policy options for the management of biological invasions. In: *Thematic Assessment Report on Invasive Alien Species and their Control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. Roy, H. E., Pauchard, A., Stoett, P., and Renard Truong, T. (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7430747>
- Muthmainnah A, Ridha A, Rusyidi S. 2024. Estimation of biomass potential, carbon stocks, and carbon sequestration of *Trigona* sp honey bees feed. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 886 012072. Doi:10.1088/1755-1315/886/1/012072
- Ngobo M, McDonald M, Weise S. 2004. Impacts of type of fallow and invasion by *Chromolaena odorata* on weed communities in crop fields in Cameroon. *Ecology and Society* 9(2), 1. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art1/>

- Oumorou M., Aboh BA, Babatounde S, Houinato M, Sinsin B. 2010. Valeur pastorale, productivité et connaissances endogènes de l'effet de l'invasion, par *Hyptis suaveolens* L. Poit., des pâturages naturels en zone soudano-guinéenne (Bénin). *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 4(4). <http://ajol.info/index.php/ijbcs>
- Padalia H, Srivastava V, Kushwaha SP. 2015. How climate change might influence the potential distribution of weed, bushmint (*Hyptis suaveolens*) *Environ Monit Assess* 187:210.
- Pimentel D, Zuniga R, Morrison D. 2005. Update on the environmental and economic costs associated with alien-invasive species in the United States. *Ecological Economics* 52(3), 273–288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.002>
- Pysek P, Hulme, PE, Meyerson LA, Smith F, Boatwright JS, Crouch NR, Figueiredo E, Foxcroft LC, Jarošík V, Richardson DM, Suda J, Wilson JR. 2013. Hitting the right target: Taxonomic challenges for, and of, plant invasions. *AoB Plants* 5, plt042. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plt042>
- Raizada P. 2006. Ecological and vegetative characteristics of a potent invader, *Hyptis suaveolens* Poit. from India. *Lyonia* 11(2): 115-120
- Reid MJ, Hull LA, Alter TR, Adams LB, Kleinert HM, Woolnough AP. 2019. New development: Public sector responses to complex socio-ecological issues—no silver bullets for rabbits. *Public Money & Management* 41(4), 351–355. <https://doi.org/10.1080/09540962.2019.1685168>
- Seedley TD. 1985 *Honeybee Ecology*. Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Sewade C; 2017. Diversity, leaf biomass of fodder trees and carrying capacity of rangelands in the Guineo-Congolese / Sudanian transition zone of Benin. Doctoral School of Water and Agronomic Sciences, University of Abomey Calavi, Benin. 242 pages.
- Sinadouwirou TA. 2023. Modélisation de la niche écologique de *Detarium microcarpum* Guill & Perr.: Preuve d'adaptation locale à travers le gradient climatique au Bénin. *Sciences de la vie, de la terre et agronomie*, 10(2).



## Analyse Bibliographique des Impacts Climatiques sur la Culture du Sorgho et Implications pour l'Amélioration de sa Résilience en Afrique de l'Ouest

Sylvain Megnonhou<sup>1\*</sup>, David Montcho<sup>1</sup>, Essegbemon Akpo<sup>1</sup>, Judicaël Dandjlessa<sup>2</sup>, Clément Agbangla<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Ecole de Gestion et de Production Végétale et Semencière, Université Nationale d'Agriculture, BP 43 Kétou, Bénin

<sup>2</sup>Laboratoire de Phytotechnie, Physiologie et Amélioration Génétique des Plantes, Faculté des Sciences Agronomiques, Université d'Abomey Calavi BP 526, Cotonou Bénin

<sup>3</sup>Laboratoire de Génétique et de Biotechnologie, Faculté des Sciences et Technologie, Université d'Abomey-Calavi, P.O. Box 526, Cotonou, Bénin

### RESUME

Les hausses de température et l'allongement des périodes de sécheresse suscitent de vives inquiétudes sur la production agricole, la sécurité alimentaire et nutritionnelle. Parmi les cultures dites résilientes aux conditions climatiques extrêmes, le sorgho occupe une place stratégique en Afrique de l'Ouest. Pourtant, cette céréale, reconnue pour sa valeur nutritionnelle et sa tolérance au stress hydrique, reste marginalisée dans les recherches portant sur les stratégies d'adaptation climatique. Cette revue explore l'évolution récente de la production de sorgho et analyse la littérature scientifique actuelle sur les effets présents et anticipés du changement climatique sur cette culture en Afrique de l'Ouest. Elle discute également des stratégies d'adaptation envisageables pour améliorer sa productivité face aux aléas climatiques. Ces mesures d'adaptation incluent la sélection de variétés mieux adaptées aux conditions abiotiques, l'optimisation des pratiques agricoles locales, le développement de techniques de transformation des grains adaptées au contexte climatique, ainsi que l'intégration croissante des outils numériques pour la modélisation et la gestion des risques climatiques. Les données compilées montrent que les rendements du sorgho restent généralement faibles et stagnants dans la région Ouest-Africaine, variant entre 0,8 et 1,5 t/ha, bien en dessous du potentiel génétique estimé à plus de 2,5 t/ha. Les projections basées sur des modèles climatiques suggèrent des baisses de rendement encore plus marquées si aucune mesure d'adaptation n'est adoptée. Bien que des efforts soient faits pour améliorer la résilience des systèmes de production, une partie des variétés développées reste faiblement adoptée, en raison notamment d'un manque de prise en compte des attentes des utilisateurs finaux. Il devient donc crucial que les futurs investissements en amélioration variétale soient non seulement orientés vers des traits à forte valeur agronomique et socioéconomique, mais qu'ils intègrent également les savoirs paysans dans le développement des technologies, afin de favoriser leur adoption effective et de renforcer durablement la résilience climatique des systèmes agricoles à base de sorgho en Afrique de l'Ouest.

**Mots clés :** Changement climatique, Productivité agricole, *Sorghum bicolor*, Stress abiotique, Adaptation climatique

### Abstract

Increasing temperatures and prolonged drought periods are raising serious concerns about agricultural production, as well as food and nutrition security. Among the crops considered resilient to extreme climatic conditions, sorghum holds a strategic position in West Africa. However, this cereal, recognized for its nutritional value and tolerance to water stress, remains marginalized in research on climate adaptation strategies. This review explores recent trends in sorghum production and analyzes current scientific literature on the present and anticipated effects of climate change on this crop in West Africa. It also discusses potential adaptation strategies to improve its productivity in the face of climate variability. These measures include the selection of varieties better adapted to abiotic conditions, the optimization of local farming practices, the development of grain processing techniques tailored to the climatic context, and the increasing integration of digital tools for climate risk modeling and management. The compiled data show that sorghum yields remain generally low and stagnant in the West African region, ranging from 0.8 to 1.5 t/ha, far below the genetic potential estimated at over 2.5 t/ha. Climate model projections suggest even sharper yield declines if no adaptation measures are adopted. Although efforts are being made to strengthen the resilience of production systems, a portion of the developed varieties remains poorly adopted, notably due to insufficient consideration of end-users' expectations. It is therefore crucial that future investments in varietal improvement be not only directed toward traits of high agronomic and socioeconomic value, but also integrate farmers' knowledge into the development of technologies, in order to foster effective adoption and sustainably enhance the climate resilience of sorghum-based farming systems in West Africa.

**Keywords:** Climate change, Agricultural productivity, *Sorghum bicolor*, Abiotic stress, Climate adaptation

Corresponding author: Sylvain MEGNONHOU,

Received in April 2025 and accepted in August 2025

E-mail address: [sylvainmegnonhou@gmail.com](mailto:sylvainmegnonhou@gmail.com)

## 1. Introduction

La sécurité alimentaire en Afrique de l'Ouest reste un défi structurel majeur avec la forte démographie prévue à l'horizon 2050 (Defrance et al., 2020). L'une des solutions possibles à ce problème est l'amélioration de la productivité des systèmes agricoles qui, doivent produire davantage pour nourrir une population en forte croissance (FAO, 2023). Cependant, l'agriculture en Afrique de l'Ouest reste principalement pluviale, et donc très vulnérable au changement et à la variabilité climatiques (Sultan & Gaetani, 2016; Zougmore et al., 2016). Ainsi les fortes fluctuations interannuelles des précipitations, la fréquence accrue des extrêmes pluviométriques et des sécheresses prolongées sont autant d'indices de modifications climatiques qui affectent les systèmes de production agricole dans la sous-région (Salack et al., 2016; Sultan et al., 2019).

Des travaux de Stuch et al. (2021), on retient une probable augmentation significative des températures dans l'ensemble de la sous-région Ouest-Africaine, ce qui pourrait modifier non seulement la quantité des précipitations, mais aussi le comportement physiologique des cultures. Une analyse bibliographique antérieure (Sultan & Gaetani, 2016) a également rapporté que l'Afrique de l'Ouest connaissait un changement climatique rapide, caractérisé par une augmentation des températures et des événements climatiques extrêmes plus fréquents, ce qui entraînerait des pertes de rendement des cultures. Par ailleurs, ce problème est aggravé par une réduction drastique de la disponibilité de terres fertiles pour ces cultures (Kone et al., 2024). La réduction de l'étendue des terres agricoles continuerait du fait de la persistance des pratiques agricoles inadaptées observées dans la sous-région.

La culture du sorgho bien qu'étant d'une importance capitale pour les populations du centre et nord Bénin, ne fait pas exception à ces contraintes climatiques rapportées dans les systèmes de cultures en Afrique de l'Ouest (Megnonhou et al., 2025). S'inscrivant dans la même logique, les travaux de Amouzou et al. (2019) ont prédit une réduction probable et considérable de l'efficacité d'utilisation de l'eau et de l'azote, ainsi que des rendements en grains du maïs et du sorgho dans la Savane Sèche du Nord-Bénin. De plus, une revue systématique conduite par Carr et al. (2022) a signalé une diminution des rendements des principales cultures céréalières en raison des changements climatiques d'une médiane de 6 % dans tous les scénarii analysés, avec une diminution marquée sur le rendement de la culture du sorgho. Par ailleurs, des travaux de simulation climatique ont prédit une probable augmentation de la fréquence des extrêmes de chaleur et de précipitations (Faye et al., 2018a; Sultan et al., 2019), ce qui entraînerait une réduction du rendement moyen du sorgho de 5 à 15 % et en termes monétaires, se traduirait par des pertes annuelles de 0,73 à 2,17 milliards de Dollars Américain (USD) pour l'Afrique de l'Ouest.

Cependant, le sorgho est connu comme une culture résistante aux conditions climatiques extrêmes, nécessitant moins d'intrants et produisant des rendements stables grâce à diverses caractéristiques de tolérance au stress biotique et abiotique (Chadalavada et al., 2021; Huang, 2018; Zhang et al., 2019). Ainsi, une méta-analyse réalisée par Khalifa & Eltahir (2023) rapporte une augmentation des rendements du sorgho malgré le réchauffement climatique grâce à une amélioration des politiques agricoles et de la qualité des intrants en Afrique

Subsaharienne. Le sorgho s'est avéré selon plusieurs sources, moins vulnérable aux variabilités climatiques et constitue la culture alternative pour une meilleure gestion de la sécurité alimentaire dans le contexte des changements climatiques en Afrique Subsaharienne (Hadebe et al., 2017; Hossain et al., 2022; Matei et al., 2020).

Ces traits positifs comparés aux travaux d'impacts climatiques indiquant ou prédisant des diminutions de rendement (Amouzou et al., 2019a; Carr et al., 2022; Faye et al., 2018; Sultan et al., 2019) semblent porter confusion sur le niveau réel des effets du climat actuel et futur sur la culture du sorgho en Afrique de l'Ouest. En outre, la plupart de ces évaluations d'impact sont prédictives et réalisées sur des systèmes de production généralisée sans une spécificité accordée à la culture du sorgho. Ce manque de détails peut influencer le choix ou l'adoption des stratégies d'adaptation face aux changements climatiques (Ouédraogo et al., 2017). Ainsi, sans mesure d'adaptation, le rendement des cultures devrait-il diminuer, tandis que la variabilité interannuelle du rendement augmenterait de manière significative (Ahmed et al., 2015).

De nombreuses études sur les mécanismes d'adaptation (Adam et al., 2020; Sultan & Gaetani, 2016) ont révélé que des pratiques agricoles correspondant aux variations climatiques peuvent considérablement réduire les impacts négatifs du changement climatique. Par ailleurs, des investigations en Afrique de l'Ouest ont montré que la combinaison de pratiques agricoles adaptées aux conditions climatiques favorables est susceptible de protéger et d'améliorer la productivité agricole future (Adam et al., 2020; Carr et al., 2022). Il est donc impérieux de situer les effets actuels du climat sur les systèmes de culture à base du sorgho, afin de promouvoir l'adoption des pratiques agricoles convenables pour une durabilité de ces derniers.

Cette revue vise à synthétiser les connaissances actuelles sur les impacts du changement climatique et les stratégies d'adaptation associées à la culture du sorgho en Afrique de l'Ouest, tout en analysant l'évolution des rendements et de la production au cours de la dernière décennie dans cette sous-région.

## 2. Méthodologie

La présente analyse bibliographique a été conduite en deux phases:

La première phase a consisté en la collecte et l'analyse des données relatives aux rendements et à la production du sorgho dans les pays d'Afrique de l'Ouest au cours des dix dernières années (2014-2023). Les données ont été extraites à partir de la base statistique de l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). Les moyennes ainsi que les représentations graphiques ont été élaborées à l'aide du logiciel Microsoft Excel afin de mettre en évidence les tendances de production dans la sous-région. La seconde phase consiste en une revue bibliographique. Celle-ci s'est appuyée sur une recherche documentaire approfondie dans différentes bases de données scientifiques, notamment Web of Science et Scopus. Pour compléter cette recherche et limiter les biais liés à la publication, la littérature grise incluant les thèses, les rapports techniques, les documents techniques d'information, et les actes de conférences ont également été consultés.

Les mots-clés utilisés comprenaient : *sorghum, drought, West Africa, climate change, yield, adaptation strategy, Sorghum varieties*. Ces termes utilisés aussi en français ont été combinés selon une syntaxe

adaptée à chaque base pour optimiser la recherche par thématique et pour la pertinence des résultats.

L'ensemble des références identifiées a été importé dans le logiciel Zotero pour la gestion bibliographique, notamment pour le repérage et la suppression des doublons. Un processus de sélection en deux étapes a ensuite été appliqué. D'abord, les titres et résumés ont été examinés afin d'évaluer leurs adéquations avec la problématique abordée. Les publications jugées pertinentes ont ensuite fait l'objet d'une lecture intégrale pour une évaluation approfondie de leurs contenus.

Les critères d'inclusion retenus étaient les suivants :

- ✓ Études expérimentales ou observationnelles portant spécifiquement sur le sorgho en Afrique de l'Ouest ;
- ✓ Présence de données quantitatives sur les effets du changement climatique sur les rendements et la production de sorgho, ainsi que sur les stratégies d'adaptation mises en œuvre ;
- ✓ Publications rédigées en français ou en anglais.

Les travaux focalisés sur d'autres zones géographiques sans pertinence agro-climatique pour l'Afrique de l'Ouest, ou hors du champ thématique de cette revue, ont été exclus. Enfin, les données extraites ont été synthétisées de manière narrative afin de faire émerger les tendances générales sur l'impact actuel et futur du changement climatique, ainsi que les principales stratégies d'adaptation développées dans la sous-région.

### 3. Résultats et discussion

#### 3.1. Evolution du rendement et de la production du sorgho en Afrique de l'Ouest

L'analyse de l'évolution des rendements du sorgho entre 2014 et 2023 dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest met en évidence des dynamiques contrastées (Tableau 1), reflet d'une interaction complexe entre facteurs agro-climatiques, technologiques et socio-économiques (Mundia et al., 2019). Globalement, les rendements restent faibles et stagnants dans la plupart des pays, oscillant entre 0,8 et 1,5 t/ha. Ce plage de rendement est bien en deçà du potentiel génétique de la culture, estimé à plus de 2,5 t/ha dans des conditions optimales de la sous-région (Yahaya & Shimelis, 2022). Il convient cependant de noter que la Guinée et le Sénégal ont particulièrement affiché non seulement une évolution de rendement progressivement à la hausse, mais également les meilleurs rendements de ces dernières années (Tableau 1). Cette tendance pourrait bien se justifier par les nombreuses initiatives de recherche pour l'amélioration de la culture dans ces pays et en partenariat avec des institutions internationales de recherche agricole.

Par ailleurs, une analyse approfondie des données de la FAO (2014–2023), présente une forte hétérogénéité dans la production de sorgho en Afrique de l'Ouest (Tableau 2). Ainsi, le Nigéria demeure de loin le premier producteur sous-régional, avec des volumes oscillants entre 6,4 et 7,5 millions de tonnes, représentant plus de la moitié de la

production ouest-africaine. Plusieurs autres sources rapportent que sa production avoisine 70 % de la production totale de sorgho en Afrique de l'Ouest, et le classe troisième producteur mondial après les États-Unis et l'Inde (Mundia et al., 2019b; Sadiq, 2020). Cependant, la popularité croissante du maïs et du soja a entraîné une baisse de la production de sorgho dans toutes les régions productrices (Mundia et al., 2019a). Le Nigéria, auparavant autosuffisant, a récemment dû importer du sorgho des États-Unis pour satisfaire la demande locale, en particulier dans le Nord-Est du pays, en raison des contraintes sécuritaires, économiques et climatiques (Scott et al., 2017). Des pays comme le Burkina Faso, le Niger et le Mali viennent après le Nigéria, avec des productions comprises entre 1,2 et 2,1 millions de tonnes, bien que marquées par une variabilité interannuelle importante liée aux aléas climatiques et contextes socio-politiques. Selon Mundia et al. (2019), la production céréalière du Burkina Faso est constituée de 44 % de sorgho et le classe troisième pays producteur de sorgho du continent après le Nigéria et le Soudan. Dans d'autres pays comme le Ghana et le Sénégal, les données montrent une tendance haussière continue, supposant un regain d'intérêt pour la culture du sorgho. Le Ghana est passé de 259 000 tonnes en 2014 à 439 000 tonnes en 2023, tandis que le Sénégal a quadruplé sa production sur la même période, atteignant 445 000 tonnes en 2023 (Tableau 2). À l'inverse, des pays comme la Gambie affichent une régression importante, avec une production tombée de 20 000 tonnes à seulement 5 000 tonnes sur la décennie. Le Bénin reste peu productif dans la dynamique sous-régionale, avec une production généralement inférieure à 150 000 tonnes, à l'exception de l'année 2018 marquée par un pic isolé. Ces tendances soulignent non seulement le poids disproportionné du Nigéria dans la production sous-régionale, mais également la diversité des trajectoires nationales, influencées par les politiques agricoles, les conditions agro-climatiques, le contexte socio-politique et les investissements dans les systèmes de recherche agricole et de production du sorgho.

Tableau 1 : Evolution des rendements du sorgho dans différents pays d'Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2023 (FAOSTAT, 2023)

| Pays                 | Rendement (kg/ha) |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|----------------------|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                      | 2014              | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   | 2023   |
| <b>Bénin</b>         | 987,5             | 985,7  | 983,0  | 990,7  | 1089,7 | 1059,1 | 1100,5 | 1007,4 | 976,0  | 871,8  |
| <b>Burkina Faso</b>  | 1102,8            | 993,6  | 959,4  | 819,3  | 1011,6 | 990,3  | 1060,5 | 899,6  | 1028,2 | 987,9  |
| <b>Côte d'Ivoire</b> | 678,3             | 686,5  | 688,8  | 692,3  | 691,9  | 709,7  | 714,7  | 715,9  | 733,5  | 740,0  |
| <b>Gambie</b>        | 745,0             | 896,4  | 681,9  | 628,2  | 751,4  | 629,6  | 638,6  | 1004,8 | 870,5  | 500,0  |
| <b>Ghana</b>         | 1141,0            | 1150,0 | 1000,0 | 1101,5 | 1146,5 | 1150,0 | 1171,1 | 1045,2 | 1295,2 | 1416,1 |
| <b>Guinée</b>        | 1064,6            | 1145,6 | 1241,4 | 1330,1 | 1423,0 | 1450,0 | 1466,8 | 1483,8 | 1501,0 | 1444,4 |
| <b>Guinée-Bissau</b> | 982,5             | 990,6  | 998,9  | 963,6  | 1050,0 | 894,0  | 897,0  | 899,0  | 1337,1 | 1150,0 |
| <b>Mali</b>          | 1055,8            | 1048,2 | 893,4  | 897,5  | 1024,1 | 1006,9 | 995,0  | 801,8  | 978,0  | 935,8  |
| <b>Niger</b>         | 399,2             | 561,4  | 501,6  | 509,1  | 539,0  | 506,1  | 580,7  | 343,1  | 554,8  | 444,9  |
| <b>Nigéria</b>       | 1207,1            | 1187,5 | 1380,9 | 1192,3 | 1208,1 | 1234,9 | 1136,4 | 1134,0 | 1194,1 | 1123,2 |
| <b>Sénégal</b>       | 818,2             | 939,0  | 876,1  | 973,6  | 1192,9 | 1131,2 | 1356,8 | 1328,1 | 1344,2 | 1711,5 |
| <b>Sierra Leone</b>  | 939,3             | 951,3  | 968,7  | 978,3  | 982,2  | 985,0  | 980,8  | 971,2  | 972,1  | 973,1  |
| <b>Togo</b>          | 950,1             | 890,5  | 860,0  | 875,2  | 869,5  | 889,1  | 896,7  | 876,4  | 884,2  | 886,4  |

Source : (FAOSTAT,2023)

Tableau 2 : Evolution de la production du sorgho dans différents pays d'Afrique de l'Ouest entre 2013 et 2023 (FAOSTAT, 2023)

| Pays                 | Production (tonne) |           |           |           |           |           |           |           |           |           |
|----------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                      | 2014               | 2015      | 2016      | 2017      | 2018      | 2019      | 2020      | 2021      | 2022      | 2023      |
| <b>Bénin</b>         | 100248,9           | 129674,5  | 129665,4  | 138391,3  | 319174,6  | 160000,0  | 148235,9  | 133093,3  | 124235,7  | 150464,9  |
| <b>Burkina Faso</b>  | 1707613,0          | 1435640,0 | 1663844,0 | 1365898,0 | 1929834,3 | 1871791,2 | 1839571,0 | 1643722,0 | 2013869,0 | 1772021,7 |
| <b>Côte d'Ivoire</b> | 51344,0            | 55100,0   | 59100,0   | 63400,0   | 65661,0   | 68132,0   | 72186,0   | 70155,0   | 73345,0   | 74000,0   |
| <b>Gambie</b>        | 20289,0            | 26891,0   | 20458,0   | 18846,0   | 15072,2   | 6296,1    | 6210,0    | 4850,0    | 5223,0    | 5000,0    |
| <b>Ghana</b>         | 259000,0           | 262651,9  | 229604,4  | 230000,0  | 316236,1  | 345000,0  | 356000,0  | 324000,0  | 401499,0  | 439000,0  |
| <b>Guinée</b>        | 38000,0            | 36462,9   | 28800,0   | 29400,0   | 60570,0   | 62215,0   | 63110,0   | 64012,0   | 64927,9   | 65000,0   |
| <b>Guinée-Bissau</b> | 14000,0            | 16000,0   | 17000,0   | 20000,0   | 21000,0   | 21900,0   | 20680,0   | 22838,0   | 26742,0   | 23000,0   |
| <b>Mali</b>          | 1271880,0          | 1527456,0 | 1393826,0 | 1423358,0 | 1469687,9 | 1511110,0 | 1822694,0 | 1239656,0 | 1603394,0 | 1528008,0 |
| <b>Niger</b>         | 1425982,0          | 1918330,0 | 1808263,2 | 1945135,9 | 2100189,8 | 1896638,1 | 2132295,0 | 1207237,0 | 2100697,3 | 1646000,0 |
| <b>Nigéria</b>       | 6883294,0          | 7005025,0 | 7556076,0 | 6939000,0 | 6800000,0 | 6665000,0 | 6590600,0 | 6725500,0 | 6806370,0 | 6402000,0 |
| <b>Sénégal</b>       | 102323,0           | 188500,0  | 193452,0  | 215491,0  | 295463,1  | 270168,3  | 377322,9  | 352474,3  | 363164,0  | 445000,0  |
| <b>Sierra Leone</b>  | 30000,0            | 38293,7   | 49000,0   | 57000,0   | 49000,0   | 50000,0   | 52000,0   | 80000,0   | 58000,0   | 61000,0   |
| <b>Togo</b>          | 307579,0           | 270863,0  | 272776,0  | 276167,0  | 277240,0  | 282582,0  | 279105,0  | 276986,0  | 280809,0  | 288000,0  |

Source : (FAOSTAT,2023)

### 3.2. Impacts et projections des changements climatiques sur la production du sorgho en Afrique de l'Ouest

Les projections sur le climat et l'agriculture en Afrique de l'Ouest prédisent des impacts négatifs susceptibles d'entraîner des crises alimentaires si des mesures adaptatives ne sont pas mises en place. Pendant que Biasutti (2013) à l'aide de nombreux modèles CMIP5 évoque des saisons de pluies plus humides avec de léger retard dans l'arrivée des premières pluies d'ici la fin du 21<sup>e</sup> siècle, de nombreuses autres études ont fait savoir que des augmentations de température et

des déficits pluviométriques prévus sont susceptibles d'entraver la production agricole en Afrique de l'Ouest (Ahmed et al., 2015b; Sultan et al., 2014; Sultan & Gaetani, 2016b; Sylla et al., 2016). Par ailleurs, le GIEC estime que la température moyenne à la surface de la terre devrait dépasser 1,5°C d'ici 2040 et entrainera des effets néfastes sur les systèmes alimentaires en Afrique en raccourcissant les saisons de croissance et en augmentant le stress hydrique (Balestrini, 2021). Faye et al. (2018) ont évoqué des projections similaires et ont trouvé qu'avec les dates de semis et taux d'engrais actuels, le rendement du sorgho devraient diminuer de 2 % en Afrique de l'Ouest pour un

réchauffement de 1,5 °C, et de 5 % pour le scénario de réchauffement de 2,0 °C. Ainsi, les rendements du sorgho deviendront plus volatiles et incertains dans la plus part des pays d'Afrique de l'Ouest compte tenu de la variabilité interannuelle de la température et/ou des précipitations prévue pour le climat (Ahmed et al., 2015). Selon Akinseye et al. (2020), les impacts des changements climatiques seront disproportionnels aux variétés de sorgho produites. En effet, ces travaux ont projeté des diminutions de rendement allant jusqu'à 6,2 % au milieu du siècle (2040-2069) avec des variétés précoces alors qu'avec des variétés à maturation moyenne, des augmentations significatives du rendement ont été prédites. Par ailleurs, l'utilisation du model AquaCrop par Akumaga et al. (2018) a permis de montrer que les effets du changement climatique sur le rendement du sorgho seraient fonction de la zone agroécologique de production. Ainsi, leurs résultats simulés pour différentes zones agroécologiques du Niger ont révélé des effets positifs des variations climatiques sur les rendements du sorgho (2% à 6% d'augmentation) dans la zone de Savane du Sud de la Guinée, tandis que dans la zone de Savane du nord de la Guinée, ils seraient principalement négatifs (2% à 20% de diminution).

Des travaux de Amouzou et al. (2019), on retient que les changements climatiques réduiraient probablement l'efficacité de l'utilisation de l'eau et de l'azote ainsi que des rendements en grains du sorgho dans la Savane Sèche du Nord Bénin. Ces contraintes sur le sol combinées à des périodes de précipitation incertaines engendreront de fortes fluctuations des rendements du sorgho (Bekuma Abdisa et al., 2022). Par ailleurs, les projections des impacts des changements climatiques sur la culture du sorgho ont montré des tendances régionales distinctes. En effet, dans le cadre du scénario SSP3-RCP7.0, les rendements moyens du sorgho au Burkina-Faso devraient diminuer jusqu'en 2090 pour atteindre 857 kg/ha (-5,5 %) par rapport aux rendements actuels (Arumugam et al., 2023a), alors qu'au Ghana les zones inaptes à la culture du sorgho devraient augmenter de 12 % (RCP2.6) et de 13 % (RCP8.5) avec plus d'optimisation des conditions climatiques de cette culture vers le Nord du pays (Chemura et al., 2020). Pour Jalloh et al., (2013) la culture du sorgho connaîtra des limites au niveau des zones actuellement cultivables qui pourraient à l'avenir en raison de l'augmentation de la température devenir hostile à la production. Les variations détaillées sur les zones favorables et sur les rendements du sorgho pluvial en Afrique de l'Ouest pour les modèles CSIRO, A1B et MCG sont présentées à la Figure1.

Les manifestations divergentes des changements climatiques se sont aussi révélé par le scénario RCP8.5 du GIEC qui a prédit que, bien qu'incertain, l'évolution du climat africain entraînera une augmentation des précipitations dans le Sahel oriental et une diminution dans le Sahel occidental (Defrance et al., 2020). Ceci explique les diminutions de rendement du sorgho signalé dans la plupart des pays sahéliens d'Afrique de l'Ouest à l'exception du Niger qui pourrait connaître des augmentations de rendements du sorgho allant jusqu'à 34 % d'ici 2050 (Tableau 2). Par ailleurs, une réduction des pertes est rapportée au niveau du model RCP8.5 prenant en compte des augmentations de concentration en CO<sub>2</sub> atmosphérique. Ceci se confirme à travers les

résultats de plusieurs études (Famien et al., 2018; Knox et al., 2012) qui ont indiqué que l'augmentation de la concentration atmosphérique en CO<sub>2</sub> entraînerait une réduction de la transpiration et donc aiderait les plantes en C4 comme le sorgho à mieux supporter les périodes de stress hydrique sévère. Des projections similaires des impacts des changements climatiques sur le rendement de la culture du sorgho en Afrique de l'Ouest ont été faites par plusieurs études conduites antérieurement (Jalloh et al., 2013; Knox et al., 2012; Nelson et al., 2010; Roudier et al., 2011). Dans cette la même logique, (Nelson et al., 2010), utilisant un modèle mondial d'équilibre partiel de l'alimentation et de l'agriculture appelé IMPACT, ont rapporté des résultats très positifs quant aux prévisions sur le rendement de la culture du sorgho. Le modèle IMPACT inclut simultanément les analyses des modèles de culture et la croissance technologique future (Jalloh et al., 2013), et a prévu des rendements très élevés même en cas de changement climatique. Toutefois, cette prévision ne doit pas être interprétée comme si les changements climatiques seront généralement positifs pour la culture du sorgho car Les effets néfastes des prévisions climatiques sur cette culture dans la plupart des pays d'Afrique de l'Ouest ont déjà été documentés (Tableau 3). Les fortes productivités prédites par ce model indiquent l'importance de l'introduction des technologies et interpellent sur l'amélioration des investissements en faveur du développement de l'agriculture.

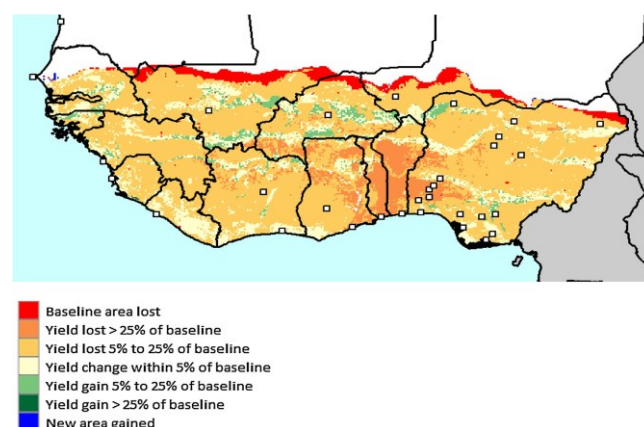


Figure 1 : Variations des zones favorables et des rendements du sorgho pluvial en Afrique de l'Ouest selon les modèles climatiques CSIRO et le scénario A1B(Jalloh et al., 2013)

Tableau 3 : Synthèse des variations de rendement de la culture de sorgho dans cinq pays d'Afrique de l'Ouest selon les scénarios RCP2.6 et RCP8.5 avec ou sans CO<sub>2</sub> d'ici 2050

| Pays         | Rendement historique | % RCP2.6 | % RCP8.5 | %RCP8.5 [CO <sub>2</sub> ] |
|--------------|----------------------|----------|----------|----------------------------|
| Burkina Faso | 867                  | -15%     | -28%     | -9%                        |
| Mali         | 1071                 | -15%     | -27%     | -13%                       |
| Niger        | 259                  | 10%      | 6%       | 34%                        |
| Nigeria      | 1100                 | -10%     | -24%     | -15%                       |
| Sénégal      | 834                  | -13%     | -28%     | -12%                       |

Source : Defrance et al. (2020)

### 3.3. Mesures adaptatives pour une meilleure résilience du sorgho face au climat

#### 3.3.1. Maintenance des systèmes de culture

Le développement de nouvelles mesures adaptatives pourrait aider à améliorer ou stabiliser les rendements des cultures dans le contexte du changement climatique (Carr et al., 2022; Sapkota et al., 2018). Ainsi, le choix des dates de semis et des pratiques culturales adéquates est très déterminant dans l'amélioration du rendement des cultures en raison de la recrudescence des périodes de sécheresse et de précipitation incertaines (Guan et al., 2017). En effet, l'étude de l'effet de la variabilité des dates de semis sur les rendements de 55 accessions de sorgho conduite par Naoura et al., (2023), a révélé qu'un simple retard du semis a conduit à une réduction de la durée de la phase végétative et par conséquent à une diminution considérable du rendement potentiel

du sorgho. Ainsi, l'actualisation et la prise en compte des travaux pour la mise à jour du calendrier agricole (périodes de semis, etc.) sont très capitales pour le maintien de la productivité des cultures dans le contexte d'un climat changeant. En outre, Khalifa & Eltahir, (2023) trouvent qu'une adoption intégrée des pratiques agronomiques et des cultivars tolérants serait idéal pour augmenter le rendement du sorgho et assurer sa résilience dans un contexte plus chaud. Ces mesures de gestion d'exploitation sont très importantes et méritent d'être documentées afin d'accompagner les systèmes de production pour une résilience renforcée face au climat. Le tableau 4 résume quelques études récentes abordant la mise à jour des pratiques de gestion des systèmes de culture à base du sorgho pour une meilleure résilience sous les climats actuels et futurs en Afrique de l'Ouest.

Tableau 4 : Quelques études présentant des pratiques de gestion des systèmes de culture à base du sorgho pour une meilleure adaptation face au climat actuel et future d'Afrique de l'Ouest.

| Auteur (S)                   | Pays/région                          | Model/scenario climatique/Méthodologies | Principaux résultats                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| (MEGNONHOU et al., 2025)     | Bénin                                | Recherche participative                 | Les producteurs de sorgho au Bénin adaptent leurs pratiques face aux aléas climatiques en adoptant des variétés à cycle court, en ajustant les dates de semis (précoces, tardifs ou multiples), en modifiant les pratiques culturales (labour profond, fertilisation), et en diversifiant les systèmes de culture, notamment par des associations comme sorgho-niébé |
| (Faye et al., 2022)          | Sénégal                              | RCP 4.5 et 8.5                          | Sous les scénarios RCP 4.5 et 8.5 à l'horizon 2050, les rendements du sorgho diminuent globalement de 20–30 % pour les variétés à cycle court et de moins de 20 % pour les variétés à cycle long                                                                                                                                                                     |
| (Araya et al., 2022)         | Sénégal                              | RCP 8.5                                 | L'ajustement localisé des dates de semis, de la fertilisation azotée et de l'irrigation permet d'augmenter significativement les rendements du sorgho, du mil et de l'arachide au Sénégal, même sous un climat futur plus chaud et plus sec                                                                                                                          |
| (Raes et al., 2021)          | Gambia, Côte d'Ivoire, Mali et Niger | RCP 4.5 et RCP 8.5                      | L'augmentation modérée de la fertilité du sol et le choix de variétés à cycle plus court ou plus adaptées à la sécheresse peuvent permettre de maintenir des niveaux de production acceptables pour le sorgho                                                                                                                                                        |
| (Adam et al., 2020)          | Soudano-sahélienne                   | DSSAT/APSIM                             | Augmenter les apports d'engrais avec 30 kg de N/ha et ajuster les densités de semis avec une augmentation de 4 à 6 plants /m <sup>2</sup> dans le climat actuel pourrait faire augmenter les rendements du sorgho de 20 à 153 %                                                                                                                                      |
| (Arumugam et al., 2023)      | Burkina-Faso                         | DSSAT                                   | La GIFS à travers la technique de Zaï et de l'agroforesterie pourrait augmenter le rendement du sorgho jusqu'à 300 % en condition de changement climatique                                                                                                                                                                                                           |
| (Akinseye et al., 2020)      | Mali                                 | APSIM                                   | Juin et Juillet sont respectivement les mois favorables de semis projetés pour les variétés précoces et les variétés à maturité moyenne de sorgho au Mali dans le cadre des changements climatiques.                                                                                                                                                                 |
| (Dossou-Aminon et al., 2016) | Bénin                                | Recherche participative                 | L'établissement des champs de sorgho dans les basses terres est une stratégie développée au Nord Bénin pour mieux produire le sorgho face au climat                                                                                                                                                                                                                  |
| (Guan et al., 2017)          | Afrique de l'Ouest                   | APSIM v7.5 et SARRA-H v3.2              | L'augmentation des apports d'engrais peut accroître les rendements du sorgho dans le climat actuel (+ 50 %), mais ne contribue pas à la réduction des impacts négatifs future, sauf dans le cas d'une amélioration des précipitations                                                                                                                                |
| (Dabre et al., 2024)         | Burkina-Faso                         | Expérimentation                         | Le zaï rectangulaire permet d'améliorer le rendement grain du sorgho à plus de 43 % par rapport au zaï ordinaire (sphérique).                                                                                                                                                                                                                                        |
| (MacCarthy et al., 2021)     | Afrique de l'Ouest                   | RAP 4–SDP et RAP 5–USDP                 | Les modèles SDP (ajout de 10kg N/ha + variétés non améliorées + 4 plant/m <sup>2</sup> ) et USDP (15kg N/ha + variété améliorée + 6 plants/m <sup>2</sup> ) simulent respectivement des augmentations de rendement de 124 % et 174 % pour le sorgho par rapport aux pratiques culturales actuelles.                                                                  |
| (Akumaga et al., 2018)       | Mali                                 | RCP4.5 and RCP8.5                       | L'amélioration du niveau de fertilité des sols (de faible à optimum) contribuera à une augmentation spectaculaire de rendement (60 à 208 %) du sorgho au Mali                                                                                                                                                                                                        |
| (K. Traore et al., 2017)     | Mali                                 | Expérimentation                         | La technique de labour en billon suivant les courbes de niveau contribue à une augmentation de rendement grain de sorgho allant de 58 à 85 % par rapport aux parcelles à labour simple.                                                                                                                                                                              |
| (Dembele et al., 2021)       | Mali                                 | Expérimentation                         | Pour un bon rendement grain du sorgho, la combinaison entre le taux d'azote et la densité de semis est spécifique à chaque variété.                                                                                                                                                                                                                                  |
| (A. Traore, 2022)            | Afrique subsaharienne                | STICS                                   | La combinaison des pratiques telle que l'association sorgho-niébé, l'utilisation de la variété améliorée et de fumure minérale constituent une meilleure stratégie adaptative pour la résilience du sorgho sous climat actuel et future.                                                                                                                             |

### 3.3.2. Développement de nouveaux cultivars

L'expérience des changements climatiques a montré la nécessité pour les chercheurs à travers leurs programmes de sélection du sorgho en Afrique de l'Ouest de mettre l'accent sur le développement de nouveaux matériels génétiques adaptés aux conditions hostiles actuelles ou projetées du climat (Akinseye et al., 2020; Gano et al., 2021). Ainsi, les programmes de sélection variétale du sorgho dans la sous-région visent principalement à développer des variétés destinées aux petits exploitants agricoles, en mettant l'accent sur des caractères agronomiques améliorés : rendements accrus, qualité des tiges et stabilité de production face aux stress biotiques et abiotiques (Orr et al., 2022).

#### 3.3.2.1. Cultivars tolérants au *Striga hermonthica*

L'utilisation des technologies telles que la sélection assistée par marqueur et la mutagenèse induite ont été observées dans la mise au point de nouveaux matériels de sorgho. Le *Striga* représente une menace d'importance capitale pour la culture du sorgho, et le changement climatique pourrait favoriser sa distribution géographique en Afrique Subsaharienne. Face à cela, quatre lignées résistantes de sorgho au *Striga* ont été développées par sélection assistée par marqueurs (Mohamed et al., 2014). Yohannes et al. (2015) ont rapporté que le rétrocroisement assisté par marqueur (MABC) a été efficace pour introgresser cinq QTLs pour la résistance au *Striga* entre le donneur du sorgho N13 et une variété sensible d'origine érythréenne (la variété Hugarbay). De plus, l'induction de la mutagenèse à l'aide de l'Ethyl méthyl de sulfonate a permis d'identifier trois lignées mutantes de sorgho (SbEMS0937-1, SbEMS3105-2 et SbEMS2311-1) qui seraient munies d'une résistance contre le *Striga* (SawaDogu et al., 2016).

#### 3.3.2.2. Cultivars tolérants à la sécheresse

Pour répondre à l'impact récurrent et sévère du stress hydrique sur la production et la productivité du sorgho, le Programme International sur le Sorgho et le Mil (INTSORMIL), l'Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides (ICRISAT), ainsi que divers Systèmes Nationaux de Recherche Agricole (SNRA) en Afrique Subsaharienne ont établi une collaboration en matière de recherche sur la sélection de variétés tolérantes à la sécheresse. Le tableau 5 présente des variétés de sorgho améliorées, dotées de caractéristiques de tolérance à la sécheresse, qui ont été développées et diffusées par ces institutions dans les régions semi-arides. Par ailleurs, d'autres investigations de chercheurs ont évalué et sélectionné de meilleurs cultivars pour la tolérance à la sécheresse. Ainsi, selon Guan et al. (2015), la sélection de cultivars traditionnels de sorgho avec un cycle de croissance plus long pourraient mieux profiter de la durée accrue de la saison des pluies et de la quantité totale de précipitations, alors que les

cultivars modernes avec un cycle de croissance court seraient mieux adaptés aux conditions de saisons plus courtes. Au Burkina Faso, les travaux sur l'amélioration génétique du sorgho pour la tolérance au déficit hydrique ont été en grande partie menés par Ouédraogo (2015). Ces recherches ont montré que la variété de sorgho B35 est tolérante au déficit hydrique sévère en conservant une teneur élevée en chlorophylle pendant la phase de stress hydrique. Elle possède ainsi, quatre QTLs de résistance à savoir le stg1, stg2, stg3 et stg4. Cependant, cette variété n'est pas appréciée des producteurs car elle possède un faible rendement. Cette variété devrait être intégrée dans des programmes d'hybridation afin d'introgresser les gènes de résistance dans des variétés plus productives. Ainsi, la technique de la mutagenèse permet de contourner les processus de croisement en générant de nouveaux caractères pouvant être utilisés pour identifier des traits de tolérance au déficit hydrique. Les travaux de recherche sur l'amélioration génétique par la mutagenèse induite demeurent assez faibles en Afrique de l'Ouest. Néanmoins, quelques recherches ont été menées au Mali. Ainsi, les travaux conduits par plusieurs chercheurs (Bretaudière et al., 1994; Bretaudière & Traore, 1991) ont-ils permis de sélectionner un mutant de sorgho (MIG-SOR86-30-03) tolérant au déficit hydrique. Ce mutant présente un système d'enracinement profond, une photosynthèse élevée et une tolérance à la sécheresse. Ainsi, grâce à ces différents travaux de sélection du sorgho, les niveaux de rendement actuels et la tolérance à la sécheresse sont considérablement améliorés. Cela permet une meilleure résilience des systèmes de culture à base de sorgho dans les zones Arides et Semi-Arides.

Tableau 5 : Quelques variétés améliorées de sorgho introduites en Afrique de l'Ouest

| Nom du génotype                                          | Origine génétique                                      | Caractéristiques recherchées                         | Pays                            | Année d'introduction | Références                        |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
| SAMSORG-47                                               | ZAUNA-INUWA/lignée pure/- sélection tête à rang        | "Stay-green"                                         | Nigéria                         | 2018                 | (Yahaya & Shimelis, 2022)         |
| SAMSORG-48                                               | KAURA BRON/Variance - sélection tête à rang            | Maturité précoce                                     | Nigéria                         | 2018                 | (Yahaya & Shimelis, 2022)         |
| PSLS-SGCTB01, PSLS-SGCTR02, PSLS-SGCTB03 et PSLS-SGCTB04 | Introductions de plantes (PI) : 685009, 685010, 685012 | Tolérance à la sécheresse post-floraison             | États-Unis (USDA)               | 2018                 | (Burke et al., 2015)              |
| IESV 92043 DL                                            | KARI Mtama 1 x Serebo                                  | Tolérance à la sécheresse et résistance au moucheron | KALRO, Kenya/ Somalie/ Zimbabwe | 2017                 | (Maluk, 2018)                     |
| RSC02-3seL(bulk) to RSC149-3seL(bulk)                    | F2:3 germplasm families [44 accessions x (BTx406)]     | Tolérance à la sécheresse, résistant aux maladies    | USDA-ARS                        | 2012                 | (Yahaya & Shimelis, 2022)         |
| ArfaGadamak8                                             | Variété locale                                         | Maturité précoce, tolérance à la sécheresse          | Soudan (ARC)                    | 2009                 | (Osman, 2007; Smale et al., 2018) |
| Gadam El Hamam                                           | Pollinisation libre /depuis le Soudan                  | Maturité précoce, tolérance à la sécheresse          | Afrique du sud/ Soudan/ Kenya   | 2004                 | (Sperling et al., 2011)           |
| Yarwasha                                                 | Variété locale                                         | Maturité précoce, tolérance à la sécheresse          | Soudan (ARC)                    | 2003                 | (Osman, 2007; Smale et al., 2018) |
| Tengemeo                                                 | 2KX17/B/1/ Pollinisation libre                         | Maturité moyenne, tolérance à la sécheresse          | Tanzanie                        | 1986                 | (Wambugu & Kamanga, 2014)         |
| Serena                                                   | Pollinisation libre                                    | Tolérance à la sécheresse                            | Kenya                           | 1975                 | (Maluk, 2018; Timu et al., 2014)  |
| Serebo                                                   | Pollinisation libre                                    | Maturité moyenne, tolérante à la sécheresse          | Kenya                           | 1970                 | (Maluk, 2018; Timu et al., 2014)  |
| Wad Hamad                                                | Variété pollinisée librement                           | Maturité moyenne, tolérante à la sécheresse          | Soudan                          | 1992                 | (Smale et al., 2018)              |
| Farine                                                   | Variété locale                                         | Tolérance à la sécheresse                            | Tchad                           | -                    | (Naoura et al., 2019)             |

### 3.3.2.3. Défis et enjeux liés à la création variétale du sorgho.

Les différents travaux de sélection de nouveaux cultivars de sorgho devraient considérablement améliorer la résilience de cette culture en Afrique de l'Ouest. Cela permettrait une meilleure croissance des systèmes de culture à base de sorgho dans les zones Arides et Semi-Arides. Cependant, les programmes d'amélioration présentent certaines faiblesses, notamment une implication insuffisante des agriculteurs dans le processus de développement et de sélection des variétés, en dépit de leur savoir-faire précieux en matière de choix de cultivars adaptés à leur environnement et à leurs préférences alimentaires (Ceccarelli & Grando, 2022). Ainsi, malgré les efforts de recherche et de diffusion, le taux d'adoption des variétés améliorées de sorgho demeure faible en Afrique de l'Ouest, notamment en raison de l'inadéquation perçue entre la qualité des grains et les préférences locales de consommation. Le cas du Bénin en constitue une illustration révélatrice. En effet, bien que

plusieurs variétés améliorées de sorgho aient été introduites par Kayodé et al. (2018), celles-ci ne figurent dans aucune des observations relevées lors des travaux de caractérisation de la diversité des espèces céréalières réalisés par Assogba et al. (2023), cinq ans plus tard, dans les zones agroécologiques du centre du pays. Cette absence témoigne d'un manque d'appropriation par les producteurs locaux, et met en lumière la nécessité de repenser les approches d'amélioration variétale, en intégrant davantage les besoins réels et les préférences des communautés rurales à travers des démarches participatives. Ce phénomène n'est pas isolé : dans d'autres zones du continent, les agriculteurs manifestent également une certaine réticence face aux variétés améliorées proposées (Ahmad Yahaya et al., 2022; Smale et al., 2019). Pour renforcer l'adoption de ces variétés et stimuler leur commercialisation, il est essentiel qu'elles intègrent les caractéristiques recherchées par les utilisateurs finaux (Derese et al., 2018). Des attributs tels que la couleur,

la taille et la saveur des grains sont déterminants car ils conditionnent l'acceptabilité des produits issus de ces variétés (Ghebrehiwot et al., 2016; Isaacs et al., 2023). Comme l'indiquent Vázquez-Araújo et al. (2012), la compréhension des besoins et attentes des consommateurs constitue la première étape dans la mise au point de produits attractifs ; ces attentes influencent directement leur acceptation, et donc l'adoption des innovations variétales. Lorsque les consommateurs reconnaissent la valeur des variétés améliorées et manifestent leur volonté de payer pour les attributs spécifiques qu'elles offrent, leur adoption devient pratiquement inévitable (Kassie et al., 2017). Dans cette logique, la sélection participative du sorgho devient une nécessité pour une meilleure efficacité dans l'adoption des technologies de résilience climatique en Afrique de l'Ouest.

### 3.3.3. *Les formes et méthodes de transformation du sorgho suscitées par des besoins d'adaptation aux aléas climatiques*

Pour faire face aux défis du changement climatique, diverses méthodes de transformations ont été mises sur pied. Ainsi, dans le catalogue de la boîte à outils des technologies sur le mil et le sorgho, des chercheurs ont fait mention du système de fraisage et de mélange des farines de mil et de sorgho (Clearinghouse, 2022). D'après les auteurs, la transformation locale de la farine permet la réduction du transport et des coûts pour les consommateurs ruraux et l'ajout de valeur au grain brut des produits vendus aux marchés urbains et aux transformateurs alimentaires. Des avantages qui, de ce point de vue, contribuent à la réduction des contributions au réchauffement climatique. De plus, les farines de mil et de sorgho sont sans gluten et conviennent à une variété de produits alimentaires tels que le pain, les biscuits, les gâteaux, les bouillies et même les pâtes. De ce fait, elles peuvent être utilisées comme substitut de farine tout usage dans presque toutes les recettes et amoindrir les risques de mauvaise productivité d'autres cultures sources de farine lors de perturbations climatiques. Par ailleurs, Kayodé et al. (2012) ont évalué l'effet des procédés de transformation sur la valeur nutritionnelle de trois types de bouillies à base de sorgho. Il s'agit d'une méthode particulière de transformation qui utilise la combinaison et le trempage des graines de plusieurs céréales dont le sorgho pendant environ 23 heures pour une bonne fermentation. Ce procédé a permis de réduire de façon significative des teneurs en phénols totaux et en anthocyanes. Il s'agit d'une technologie innovante indispensable dans la gestion de la sécurité alimentaire et nutritionnelle en temps des aléas climatiques. Dans le même contexte, Ali & Djalé (2001), ont mené une étude sur la substitution de la farine de blé ou autres farines par la farine de sorgho en boulangerie, biscuiterie et produits locaux ('Ablo', 'Kome'). Les auteurs ont d'une part partiellement substitué la farine de blé avec les farines de certaines variétés de sorgho dans la fabrication du pain et des biscuits, et d'autre part totalement remplacé la farine de maïs par ces mêmes farines dans la préparation des produits locaux (Ablo, Kome). Les produits obtenus se sont avérés être des denrées de qualité satisfaisante et certaines variétés ont en particulier donné des produits locaux (Ablo, Kome) meilleurs à ceux obtenus avec la farine de maïs. Ces mêmes

variétés introduites en remplacement partiel du blé en boulangerie et biscuiterie ont donné des produits de bonne qualité, équivalents à ceux obtenus avec le blé seul. Songre-Ouattara et al. (2016) abordent dans le même sens et trouvent que l'enrichissement de biscuits à base de sorgho avec du moringa, de la spiruline ou de la patate douce à chair orange permet d'améliorer significativement leur teneur en protéines et en micronutriments essentiels, tout en maintenant une bonne acceptabilité sensorielle aux niveaux modérés d'incorporation. En outre, Salim et al. (2017) ont montré que la fortification de la farine du sorgho avec du soja et du blé permet d'augmenter significativement la teneur en protéines, lipides et cendres, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire dans les zones rurales grâce à l'adoption de technologies simples adaptées au contexte local. Ces innovations s'avèrent importantes dans la gestion des pénuries de maïs causées par les changements climatiques. D'autres méthodes de transformation des résidus de la culture de sorgho existent également dans une perspective d'adaptation, aux changements climatiques. Dans le catalogue de la boîte à outils des technologies sur le mil et le sorgho (Clearinghouse, 2022), des chercheurs ont fait mention de la transformation des résidus en aliments bétails comme une mesure adéquate de gestion de la culture du sorgho en réponse aux réalités climatiques. Cette mesure vient combler les insuffisances de la méthode classique de gestion des résidus par les agriculteurs. Ces derniers coupent normalement les tiges en petits morceaux à la main afin de pouvoir les donner au bétail, un processus qui non seulement prend beaucoup de temps mais aussi limite la quantité de paille de sorgho utilisée pour le bétail. Par ailleurs, l'incinération des résidus restants contribue à l'épuisement du carbone du sol, à la pollution atmosphérique locale et aux émissions inutiles de gaz carbonique. C'est pour relever ces défis que l'Institut International de Recherche sur les Cultures des Zones Tropicales Semi-Arides et ses partenaires ont développé un transformateur qui permet de hacher ou de broyer les tiges de sorgho pour les utiliser comme aliments bétail ou comme paillis.

### 3.3.4. *Utilisation du numérique dans le processus d'adaptation du sorgho face au climat*

Des initiatives telles que la vulgarisation numérique au Ghana ont permis d'améliorer la qualité des services de vulgarisation agricole, facilitant ainsi l'accès des agriculteurs à des informations climatiques et agronomiques pertinentes. Ces services, appelés 'services agromet', soutiennent la transition vers une agriculture plus productive et résiliente au climat en aidant les agriculteurs à mieux gérer les risques liés à la variabilité climatique (Banque mondiale, 2023). Par ailleurs, divers auteurs ont entrepris des travaux sur l'usage du numérique dans la gestion des systèmes de culture à base du sorgho. C'est le cas de Boyard-Micheau (2013) qui a évalué les effets de la variabilité climatique sur les rendements agricoles de l'espèce simulés par le modèle SARRA-H (une plateforme de logiciels développés pour modéliser les bilans hydriques et l'évaluation de variables agricoles, tel que le rendement potentiel céréalier en milieu tropical semi-aride) dans la région est du Mont Kenya. L'étude visait à déterminer la sensibilité

des cultures vivrières à différentes variables pluviométriques ainsi qu'aux variables météorologiques autres que la pluie. Il s'agit plus spécifiquement de comprendre de quelle manière la variabilité spatiotemporelle des paramètres climatiques, modulent la variabilité des rendements agricoles. La variable agricole considérée est le rendement potentiel qui, faute de données observées sur le terrain, est simulée grâce au modèle agro-climatique SARRA-H à partir de données pluviométriques et météorologiques observées pour la période 1973-2001. Les analyses effectuées au cours de l'étude ont montré qu'en dépit de sa forte résilience, le sorgho reste touché par les effets du changement climatique. De même, Röhrig et al. (2021) ont mis au point au Niger, le modèle cultural AMPLIFY (Agricultural Model for Production Loss Identification and Failures of Yields). Ce modèle permet d'évaluer le rôle de la variabilité météorologique sur les rendements de diverses cultures vivrières dont le sorgho, à la fois au niveau national et infranational (régional). Les investigations utilisant ce modèle démontrent la variation des rendements qui serait due aux variations météorologiques à la fois au niveau national et au niveau régional. Sankara (2020) quant à lui, a mené une étude de lutte contre l'insécurité alimentaire à partir de l'alerte précoce tout en modélisant le rendement du sorgho dans quatorze (14) provinces de trois régions du Burkina Faso avec les outils GeoWRSI (Water Requirements Satisfaction Index), SPIRITS, les images NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) et l'historique des rendements. La méthodologie du travail a consisté à rechercher un modèle de prévision de rendement adéquat du sorgho en mettant en évidence la corrélation entre les rendements historiques et les différentes variables explicatives du rendement à savoir les variables phénologiques à travers l'analyse du profil temporel du NDVI, le bilan en eau du GeoWRSI et les données de pluviométrie issues de CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data). Ainsi, des modèles ont été construits à travers la combinaison de ces éléments et peuvent contribuer à la lutte contre l'insécurité alimentaire à travers une alerte précoce. Ces mesures adaptatives démontrent l'importance du numérique dans la mise au point des stratégies d'adaptation de l'agriculture en ce sens qu'elles aident à la prédiction des conditions météorologiques agréables ou désagréables permettant d'anticiper sur des menaces climatiques plus sévères.

#### 4. Conclusion et recommandations

Le sorgho, bien qu'étant une culture naturellement résistante aux conditions climatiques extrêmes, reste encore peu intégré dans les innovations récentes en matière d'agriculture climato-intelligente. À travers cette analyse bibliographique, nous avons pu mettre en lumière l'évolution des rendements et de la production du sorgho en Afrique de l'Ouest au cours de la dernière décennie. Les résultats ont montré une forte contribution du Nigéria à la production sous-régionale, mais aussi une diversité marquée des trajectoires nationales, influencées par les politiques publiques, les conditions agro-climatiques et le niveau d'investissement dans les systèmes de culture du sorgho. Par ailleurs, les études d'impact climatique recensées indiquent une tendance générale à la baisse des rendements dans la majorité des pays ouest-africains,

soulignant ainsi la nécessité de stratégies d'adaptation. Ces stratégies incluent le développement de meilleures pratiques culturales, l'amélioration génétique des variétés, l'adoption de procédés technologiques valorisant la qualité nutritionnelle, ainsi que l'implémentation d'outils numériques pour améliorer les capacités de prévision et d'alerte. Cependant, malgré l'existence de programmes de sélection variétale, une partie des variétés développées reste faiblement adoptée, en raison notamment d'un manque de prise en compte des attentes des utilisateurs finaux. Il devient donc crucial que les futurs investissements en amélioration variétale soient non seulement orientés vers des traits à forte valeur agronomique et socioéconomique, mais qu'ils intègrent également les savoirs paysans dans le développement des technologies, afin de favoriser leur adoption effective et de renforcer durablement la résilience climatique des systèmes agricoles à base du sorgho en Afrique de l'Ouest

#### Références bibliographiques

- Adam, M., MacCarthy, D. S., Traoré, P. C. S., Nenkam, A., Freduah, B. S., Ly, M., & Adiku, S. G. K. (2020b). Which is more important to sorghum production systems in the Sudano-Sahelian zone of West Africa: Climate change or improved management practices? *Agricultural Systems*, 185, 102920. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102920>
- Ahmad Yahaya, M., Shimelis, H., Nebie, B., Ojiewo, C. O., & Danso-Abbeam, G. (2022). Sorghum production in Nigeria: Opportunities, constraints, and recommendations. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 72(1), 660–672. <https://doi.org/10.1080/09064710.2022.2047771>
- Ahmed, K. F., Wang, G., Yu, M., Koo, J., & You, L. (2015). Potential impact of climate change on cereal crop yield in West Africa. *Climatic Change*, 133(2), 321–334. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1462-7>
- Akinseye, F. M., Ajeigbe, H. A., Traore, P. C. S., Agele, S. O., Zemadim, B., & Whitbread, A. (2020). Improving sorghum productivity under changing climatic conditions: A modelling approach. *Field Crops Research*, 246, 107685. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107685>
- Akumaga, U., Tarhule, A., Piani, C., Traore, B., & Yusuf, A. (2018). Utilizing Process-Based Modeling to Assess the Impact of Climate Change on Crop Yields and Adaptation Options in the Niger River Basin, West Africa. *Agronomy*, 8(2), 11. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020011>
- Ali, K. L., & Djalé, K. A. (2001). Substitution partielle de la farine de blé ou autres farines par la farine de sorgho en boulangerie, biscuiterie et produits locaux ('Ablo', 'Kome'). *Towards Sustainable Sorghum Production, Utilization, and Commercialization in West and Central Africa: Proceedings of a Technical Workshop of the West and Central Africa Sorghum Research Network, 19-22 April 1999, Lome, Togo. Bamako, BP 320, Mali: West and Central Africa Sorghum Research*

- Network; and Patancheru 502 324, Andhra Pradesh, India: International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics. 000 Pages, 15. [https://oar.icrisat.org/357/1/CO\\_0018.pdf#page=27](https://oar.icrisat.org/357/1/CO_0018.pdf#page=27)
- Amouzou, K. A., Lamers, J. P. A., Naab, J. B., Borgemeister, C., Vlek, P. L. G., & Becker, M. (2019). Climate change impact on water- and nitrogen-use efficiencies and yields of maize and sorghum in the northern Benin dry savanna, West Africa. *Field Crops Research*, 235, 104–117. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.02.021>
- Arumugam, P., Chemura, A., Aschenbrenner, P., Schauburger, B., & Gornott, C. (2023). Climate change impacts and adaptation strategies: An assessment on sorghum for Burkina Faso. *European Journal of Agronomy*, 142, 126655. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2022.126655>
- ASSOGBA, P., AFOUDA, A. S., AFOUDA, H. W., & Ibouaïma YABI. (2023). *Characterisation of the agro-diversity of family farms in the communes of Save and Ouesse (Central Benin)*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.8270763>
- Balestrini, A. (2021, August 23). *Rapport AR6 du GIEC « résumé pour les décideurs »*. État d'urgence. <https://etatdurgence.ch/blog/articles/rapport-ar6-du-giec-resume-pour-les-decideurs/>
- Banque mondiale. (2023). *Mécanismes de fourniture des informations numériques sur le climat et des conseils en agriculture en Afrique de l'Ouest*. [https://documents1.worldbank.org/curated/en/099184003162337050/pdf/P1729410355d9d056098e906ff1a4abb546.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://documents1.worldbank.org/curated/en/099184003162337050/pdf/P1729410355d9d056098e906ff1a4abb546.pdf?utm_source=chatgpt.com)
- Bekuma Abdisa, T., Mamo Diga, G., & Regassa Tolessa, A. (2022). Impact of climate variability on rain-fed maize and sorghum yield among smallholder farmers. *Cogent Food & Agriculture*, 8(1), 2057656. <https://doi.org/10.1080/23311932.2022.2057656>
- Biasutti, M. (2013). Forced Sahel rainfall trends in the CMIP5 archive. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(4), 1613–1623. <https://doi.org/10.1002/jgrd.50206>
- Boyard-Micheau, J. (2013). *Prévisibilité potentielle des variables climatiques à impact agricole en Afrique de l'Est et application au sorgho dans la région du mont Kenya* [PhD Thesis, Université de Bourgogne]. <https://theses.hal.science/tel-01124214/>
- Bretauudeau, A., & Traore, B. M. (1991). Caractérisation de quelques paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de Sorgho (*Sorghum bicolor* Moench) soumises à un stress hydrique. *Revue Du Réseau Pour l'amélioration de La Productivité Agricole En Milieu Aride*, 3, 21–34. <https://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=5575888>
- Bretauudeau, A., Traore, B. M., Traore, S., Toure, O. S., & Keita, M. (1994). Contribution à l'utilisation des paramètres morpho-physiologiques et agronomiques pour la sélection de variétés de sorgho résistantes à la sécheresse. *Bilan Hydrique Agricole et Sécheresse En Afrique Tropicale*, (John Libbey Ed.) Eurotext, Paris, 125–136. [https://cda-omvs.org/wp-content/uploads/attachments/10059\\_ocr.pdf](https://cda-omvs.org/wp-content/uploads/attachments/10059_ocr.pdf)
- Burke, J. J., Payton, P., Chen, J., Xin, Z., Burow, G., & Hayes, C. (2015). Metabolic Responses of Two Contrasting Sorghums to Water-Deficit Stress. *Crop Science*, 55(1), 344–353. <https://doi.org/10.2135/cropsci2014.04.0322>
- Carr, T. W., Mkuhlani, S., Segnon, A. C., Ali, Z., Zougmore, R., Dangour, A. D., Green, R., & Scheelbeek, P. (2022). Climate change impacts and adaptation strategies for crops in West Africa: A systematic review. *Environmental Research Letters*, 17(5), 053001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac61c8>
- Ceccarelli, S., & Grando, S. (2022). Return to Agrobiodiversity: Participatory Plant Breeding. *Diversity*, 14(2), 126. <https://doi.org/10.3390/d14020126>
- Chadalavada, K., Kumari, B. D. R., & Kumar, T. S. (2021). Sorghum mitigates climate variability and change on crop yield and quality. *Planta*, 253(5), 113. <https://doi.org/10.1007/s00425-021-03631-2>
- Chemura, A., Schauburger, B., & Gornott, C. (2020). Impacts of climate change on agro-climatic suitability of major food crops in Ghana. *PLOS ONE*, 15(6), e0229881. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229881>
- Clearinghouse, T. (2022). Catalogue de la Boîte à Outils des Technologies sur le Mil et Sorgho. TAAT Clearinghouse. Série de Rapports Techniques 014. *Gates Open Res*, 6(139), 139. <https://gatesopenresearch.org/documents/6-139>
- Dabre, A., Savadogo, P., Sanou, L., & Nacro, H. B. (2024). Sorghum Yield Using Rectangular Versus Spherical zaï Pits and Integrated Soil Fertility Management in the Sahelian and Sudano-Sahelian Zones of Burkina Faso. *Agricultural Research*. <https://doi.org/10.1007/s40003-023-00690-7>
- Defrance, D., Sultan, B., Castets, M., Famien, A. M., & Baron, C. (2020). Impact of Climate Change in West Africa on Cereal Production Per Capita in 2050. *Sustainability*, 12(18), 7585. <https://doi.org/10.3390/su12187585>
- Dembele, J. S. B., Gano, B., Kouressy, M., Dembele, L. L., Doumbia, M., Ganyo, K. K., Sanogo, S., Togola, A., Traore, K., Vaksman, M., Teme, N., Diouf, D., & Audebert, A. (2021). Plant density and nitrogen fertilization optimization on sorghum grain yield in Mali. *Agronomy Journal*, 113(6), 4705–4720. <https://doi.org/10.1002/ajg2.20850>
- Dereese, S. A., Shimelis, H., Laing, M., & Mengistu, F. (2018). The impact of drought on sorghum production, and farmer's varietal and trait preferences, in the north eastern Ethiopia: Implications for breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*, 68(5), 424–436. <https://doi.org/10.1080/09064710.2017.1418018>

- Dossou-Aminon, I., Dansi, A., Ahissou, H., Cissé, N., Vodouhè, R., & Sanni, A. (2016). Climate variability and status of the production and diversity of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) in the arid zone of northwest Benin. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 63(7), 1181–1201. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0310-y>
- Famien, A. M., Janicot, S., Ochou, A. D., Vrac, M., Defrance, D., Sultan, B., & Noël, T. (2018). A bias-corrected CMIP5 dataset for Africa using the CDF-t method – a contribution to agricultural impact studies. *Earth System Dynamics*, 9(1), 313–338. <https://doi.org/10.5194/esd-9-313-2018>
- FAO. (2023). *La situation mondiale de l'alimentation et de l'agriculture: Changement climatique, agriculture et sécurité alimentaire*, FAO. ed. FAO, Rome (I). - Recherche Google (FAO, Rome (I)). <https://www.fao.org/3/i6030f/i6030f.pdf>
- Faye, B., Webber, H., Naab, J. B., MacCarthy, D. S., Adam, M., Ewert, F., Lamers, J. P. A., Schleussner, C.-F., Ruane, A., Gessner, U., Hoogenboom, G., Boote, K., Shelia, V., Saeed, F., Wisser, D., Hadir, S., Laux, P., & Gaiser, T. (2018). Impacts of 1.5 versus 2.0 °C on cereal yields in the West African Sudan Savanna. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034014. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaab40>
- Gano, B., Dembele, J. S. B., Tovignan, T. K., Sine, B., Vadez, V., Diouf, D., & Audebert, A. (2021). Adaptation Responses to Early Drought Stress of West Africa Sorghum Varieties. *Agronomy*, 11(3), 443. <https://doi.org/10.3390/agronomy11030443>
- Ghebrehiwot, H. M., Shimelis, H. A., Kirkman, K. P., Laing, M. D., & Mabhaudhi, T. (2016). Nutritional and Sensory Evaluation of Injera Prepared from tef and *Eragrostis curvula* (Schr.) Nees. Flours with Sorghum Blends. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01059>
- Guan, K., Sultan, B., Biasutti, M., Baron, C., & Lobell, D. B. (2015). What aspects of future rainfall changes matter for crop yields in West Africa? *Geophysical Research Letters*, 42(19), 8001–8010. <https://doi.org/10.1002/2015GL063877>
- Guan, K., Sultan, B., Biasutti, M., Baron, C., & Lobell, D. B. (2017). Assessing climate adaptation options and uncertainties for cereal systems in West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 291–305. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.07.021>
- Hadebe, S. T., Modi, A. T., & Mabhaudhi, T. (2017). Drought Tolerance and Water Use of Cereal Crops: A Focus on Sorghum as a Food Security Crop in Sub-Saharan Africa. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(3), 177–191. <https://doi.org/10.1111/jac.12191>
- Hossain, Md. S., Islam, Md. N., Rahman, Md. M., Mostofa, M. G., & Khan, Md. A. R. (2022). Sorghum: A prospective crop for climatic vulnerability, food and nutritional security. *Journal of Agriculture and Food Research*, 8, 100300. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2022.100300>
- Huang, R. (2018). Research progress on plant tolerance to soil salinity and alkalinity in sorghum. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(4), 739–746. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(17\)61728-3](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(17)61728-3)
- Isaacs, K., Smit, M., Samaké, B., Rattunde, F., Cissé, F., Diallo, A., Sidibe, M., & Weltzien, E. (2023). Participatory Evaluation of Sorghum Processing and Sensory Attributes in Mali: Methodology for Improving Food Security Outcomes from Variety Development Efforts. *Sustainability*, 15(5), 4312. <https://doi.org/10.3390/su15054312>
- Jalloh, A., Nelson, G. C., Thomas, T. S., Zougmore, R. B., & Roy-Macauley, H. (2013). *West African agriculture and climate change: A comprehensive analysis*. Intl Food Policy Res Inst.
- Kassie, G. T., Abdulai, A., Greene, W. H., Shiferaw, B., Abate, T., Tarekegne, A., & Sutcliffe, C. (2017). Modeling Preference and Willingness to Pay for Drought Tolerance (DT) in Maize in Rural Zimbabwe. *World Development*, 94, 465–477. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.02.008>
- Kayodé, A. P. P., Akogou, F. U. G., Hounkpatin, W. A., & Hounhouigan, D. J. (2012). Effets des procédés de transformation sur la valeur nutritionnelle des formulations de bouillies de complément à base de sorgho. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 6(5), 2192–2201. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/85274>
- Kayodé, P. (2018). *Adoption de variétés de sorgho résilientes aux changements climatiques au Bénin*. CTA. <https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=XdeLDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=%20vari%C3%A9t%C3%A9s%20de%20sorgho%20au%20B%C3%A9nin&ots=EXYn9WNCMc&sig=HxxdKWv4a60nqnkOSc13Z7CJQSY>
- Khalifa, M., & Eltahir, E. A. B. (2023). Assessment of global sorghum production, tolerance, and climate risk. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1184373. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1184373>
- Knox, J., Hess, T., Daccache, A., & Wheeler, T. (2012). Climate change impacts on crop productivity in Africa and South Asia. *Environmental Research Letters*, 7(3), 034032. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/3/034032>
- Kone, S., Balde, A., Zahonogo, P., & Sanfo, S. (2024). A systematic review of recent estimations of climate change impact on agriculture and adaptation strategies perspectives in Africa. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 29(2), 18. <https://doi.org/10.1007/s11027-024-10115-7>
- MacCarthy, D. S., Adam, M., Freduah, B. S., Fosu-Mensah, B. Y., Ampim, P. A., Ly, M., Traore, P. S., & Adiku, S. G. (2021). Climate change impact and variability on cereal productivity among smallholder farmers under future production systems in West Africa. *Sustainability*, 13(9), 5191. <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/9/5191>
- Maluk, M. D. (2018). *Assessment of drought tolerance, earliness and grain yield in south Sudan sorghum germplasm and icrisat*

- lines [PhD Thesis, University of Nairobi]. <https://erepository.uonbi.ac.ke/handle/11295/105516>
- Matei, G., VLĂDU, V., Dodocioiu, A. M., & Toader, M. (2020). Study regarding the optimization of grain sorghum cultivation technology in the context of sustainable agriculture. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, 63(2). [https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue\\_2/Art23.pdf](https://agronomyjournal.usamv.ro/pdf/2020/issue_2/Art23.pdf)
- Megnonhou, S., Montcho, D., Akpo, E., Dandjlessa, J., & Kpocheme, A. O. E. K. (2025). Evaluation of Food Technologies and Farmers' Practices Related to Sorghum Cultivation in Central and Northern Benin. *CORAF* 2023, 5. <https://doi.org/10.3390/proceedings2025118005>
- MEGNONHOU, S., MONTCHO, D., Essegbemon, A., NEBIE, B., KOLADE, O., LARWANOU, M., & AGBANGLA, C. (2025). A Correspondence Factor Analysis of Famers' Perceptions of Climate Change Impacts, and Adaptation Strategies in Sorghum production in Bénin. *Bulletin de La Recherche Agronomique Du Bénin*, 35(01).
- Mohamed, A., Ali, R., Elhassan, O., Suliman, E., Mugoya, C., Masiga, C. W., Elhusien, A., & Hash, C. T. (2014). First products of DNA marker-assisted selection in sorghum released for cultivation by farmers in sub-saharan Africa. *Journal of Plant Science and Molecular Breeding*, 3(1), 3. <https://doi.org/10.7243/2050-2389-3-3>
- Mundia, C. W., Secchi, S., Akamani, K., & Wang, G. (2019). A Regional Comparison of Factors Affecting Global Sorghum Production: The Case of North America, Asia and Africa's Sahel. *Sustainability*, 11(7), 2135. <https://doi.org/10.3390/su11072135>
- Naoura, G., Emendack, Y., Sawadogo, N., Djirabaye, N., Tabo, R., Laza, H., & Atchozou, E. A. (2023). Assessment of Photoperiod Sensitivity and the Effect of Sowing Date on Dry-Season Sorghum Cultivars in Southern Chad. *Agronomy*, 13(3), 932. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030932>
- Naoura, G., Sawadogo, N., Atchozou, E. A., Emendack, Y., Hassan, M. A., Reoungal, D., Amos, D. N., Djirabaye, N., Tabo, R., & Laza, H. (2019). Assessment of agro-morphological variability of dry-season sorghum cultivars in Chad as novel sources of drought tolerance. *Scientific Reports*, 9(1), 19581. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-56192-6>
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Palazzo, A., Gray, I., Ingersoll, C., Robertson, R., Tokgoz, S., Zhu, T., Sulser, T. B., & Ringler, C. (2010). *Food security, farming, and climate change to 2050: Scenarios, results, policy options* (Vol. 172). Intl Food Policy Res Inst.
- Orr, A., Weltzien, E., & Rattunde, F. (2022). Research and development for sorghum and millets in Sub-Saharan Africa: What have we learned? *Outlook on Agriculture*, 51(4), 435–447. <https://doi.org/10.1177/00307270221133127>
- Osman, A. K. (2007). Community based seed supply in Sudan. *LEISA-LEUSDEN*, 23(2), 18. <https://core.ac.uk/download/pdf/48027317.pdf>
- Ouédraogo, M., Zougmore, R., Moussa, A. S., Partey, S. T., Thornton, P. K., Kristjanson, P., Ndour, N. Y. B., Somé, L., Naab, J., Boureima, M., Diakité, L., & Quiros, C. (2017). Markets and climate are driving rapid change in farming practices in Savannah West Africa. *Regional Environmental Change*, 17(2), 437–449. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1029-9>
- Röhrig, F., Gloy, N., von Loeben, S. C., Gornott, C., Arumugam, P., Aschenbrenner, P., Baek, H.-R. L., Carlsburg, M., Chemura, A., & Fodi, B. I. (2021). *Climate Risk Analysis for Identifying and Weighing Adaptation Strategies in Niger's Agricultural Sector*. [https://publications.pik-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemFullPage.jsp?itemId=item\\_27268\\_2&view=ACTION](https://publications.pik-potsdam.de/pubman/faces/ViewItemFullPage.jsp?itemId=item_27268_2&view=ACTION)
- Roudier, P., Sultan, B., Quirion, P., & Berg, A. (2011). The impact of future climate change on West African crop yields: What does the recent literature say? *Global Environmental Change*, 21(3), 1073–1083. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.007>
- Sadiq, S. (2020). Sorghum food security in Nigeria. *Ziraat Fakültesi Dergisi*, 15(2), 166–178. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sduzfd/issue/58147/792399>
- Salack, S., Klein, C., Giannini, A., Sarr, B., Worou, O. N., Belko, N., Jan Bliefernicht, & Kunstman, H. (2016). Global warming induced hybrid rainy seasons in the Sahel. *Environmental Research Letters*, 11(10), 104008. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/104008>
- Salim, E. R. A., Ahmed, W. A., Mohamed, M. A., AlSiddig, M. A., & Hamed, S. Y. (2017). Fortified sorghum as a potential for food security in rural areas by adaptation of technology and innovation in Sudan. *Journal of Food, Nutrition and Population Health*, 1(1), 1–15.
- Sankara, R. (2020). *Contribution de l'imagerie satellitaire à la lutte contre l'insécurité alimentaire au Burkina Faso: Prévisions de rendements du Sorgho (Sorghum Bicolor L. Moench) à partir des outils SPIRITS, GeoWRSI et des images du NDVI*. <https://matheo.uliege.be/handle/2268.2/10076>
- Sapkota, T. B., Aryal, J. P., Khatri-Chhetri, A., Shirsath, P. B., Arumugam, P., & Stirling, C. M. (2018). Identifying high-yield low-emission pathways for the cereal production in South Asia. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 23(4), 621–641. <https://doi.org/10.1007/s11027-017-9752-1>
- SawaDogu, T. C., TRAORE, H., YONLI, D., BOUSSIM, J. I., & TUINSTRAL, M. (2016). Evaluation de la résistance de lignées mutantes de sorgho contre Striga hermonthica (Del.) Benth. au Burkina Faso: Screening of sorghum mutant lines for resistance to Striga hermonthica (Del.) Benth. in Burkina Faso. *Sciences Naturelles et Appliquées*, 2. [https://revuesciences-techniquesburkina.org/index.php/sciences\\_naturelles\\_et\\_appliquee/article/view/883](https://revuesciences-techniquesburkina.org/index.php/sciences_naturelles_et_appliquee/article/view/883)

- Scott, R., Nzeka, U., & Taylor, J. (2017). Nigeria grain and feed annual. *Global Agriculture Information Network; USDA Foreign Agricultural Service: Washington, DC, USA*.
- Smale, M., Assima, A., Kergna, A., Thériault, V., & Weltzien, E. (2018). Farm family effects of adopting improved and hybrid sorghum seed in the Sudan Savanna of West Africa. *Food Policy*, 74, 162–171. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306919216301518>
- Smale, M., Kergna, A., Amidou Assima, Weltzien, E., & Rattunde, F. (2019). *An Overview and Economic Assessment of Sorghum Improvement in Mali*. Gates Open Research. <https://doi.org/10.21955/GATESOPENRES.1115309.1>
- Songre-Ouattara, L. T., Gorga, K., Bationo, F., Savadogo, A., & Diawara, B. (2016). Utilisation du moringa, de la spiruline, de la patate douce à chair orange et d'un complexe minéral et vitaminique dans la fabrication de biscuits de sorgho enrichis destinés aux jeunes enfants. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 10(4), 1651–1665. <https://www.ajol.info/index.php/ijbcs/article/view/153724>
- Sperling, L., Katungi, E., Team, A. M. U. R., & Council, D. R. (2011). *Seed system security assessment: Southern Sudan: November-December 2010*. <https://www.sidalc.net/search/Record/digspace-10568-71652/Description>
- Stuch, B., Alcamo, J., & Schaldach, R. (2021). Projected climate change impacts on mean and year-to-year variability of yield of key smallholder crops in Sub-Saharan Africa. *Climate and Development*, 13(3), 268–282. <https://doi.org/10.1080/17565529.2020.1760771>
- Sultan, B., Defrance, D., & Iizumi, T. (2019). Evidence of crop production losses in West Africa due to historical global warming in two crop models. *Scientific Reports*, 9(1), 12834. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49167-0>
- Sultan, B., & Gaetani, M. (2016). Agriculture in West Africa in the Twenty-First Century: Climate Change and Impacts Scenarios, and Potential for Adaptation. *Frontiers in Plant Science*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01262>
- Sultan, B., Guan, K., Kouressy, M., Biasutti, M., Piani, C., Hammer, G. L., McLean, G., & Lobell, D. B. (2014). Robust features of future climate change impacts on sorghum yields in West Africa. *Environmental Research Letters*, 9(10), 104006. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/104006>
- Sylla, M. B., Nikiema, P. M., Gibba, P., Kebe, I., & Klutse, N. A. B. (2016). Climate Change over West Africa: Recent Trends and Future Projections. In J. A. Yaro & J. Hesselberg (Eds.), *Adaptation to Climate Change and Variability in Rural West Africa* (pp. 25–40). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-31499-0\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-319-31499-0_3)
- Timu, A. G., Mulwa, R., Okello, J., & Kamau, M. (2014). The role of varietal attributes on adoption of improved seed varieties: The case of sorghum in Kenya. *Agriculture & Food Security*, 3(1), 9. <https://doi.org/10.1186/2048-7010-3-9>
- Traore, A. (2022). *Changement climatique et agriculture en Afrique subsaharienne. Perception des agriculteurs et impact de l'association entre une céréale et une légumineuse sur les rendements des deux espèces et leur variabilité inter-annuelle sous climat actuel et futur. Cas du sorgho et du niébé dans l'environnement soudano-sahélien* [PhD Thesis, Sorbonne université]. <https://theses.hal.science/tel-03847646/>
- Traore, K., Sidibe, D. K., Coulibaly, H., & Bayala, J. (2017). Optimizing yield of improved varieties of millet and sorghum under highly variable rainfall conditions using contour ridges in Cinzana, Mali. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0086-0>
- Vázquez-Araújo, L., Chambers Iv, E., & Cherdchu, P. (2012). Consumer Input for Developing Human Food Products Made with Sorghum Grain. *Journal of Food Science*, 77(10). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02917.x>
- Wambugu, F., & Kamanga, D. (Eds.). (2014). *Biotechnology in Africa: Emergence, Initiatives and Future* (Vol. 7). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-04001-1>
- Yahaya, M. A., & Shimelis, H. (2022). Drought stress in sorghum: Mitigation strategies, breeding methods and technologies—A review. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 208(2), 127–142. <https://doi.org/10.1111/jac.12573>
- Yohannes, T., Abraha, T., Kiambi, D., Folkertsma, R., Tom Hash, C., Ngugi, K., Mutitu, E., Abraha, N., Weldetsion, M., Mugoya, C., Masiga, C. W., & De Villiers, S. (2015). Marker-assisted introgression improves Striga resistance in an Eritrean Farmer-Preferred Sorghum Variety. *Field Crops Research*, 173, 22–29. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.12.008>
- Zhang, R., Zhou, Y., Yue, Z., Chen, X., Cao, X., Ai, X., Jiang, B., & Xing, Y. (2019). The leaf-air temperature difference reflects the variation in water status and photosynthesis of sorghum under waterlogged conditions. *PLOS ONE*, 14(7), e0219209. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219209>
- Zougmore, R., Partey, S., Ouédraogo, M., Omitoyin, B., Thomas, T., Ayantunde, A., Ericksen, P., Said, M., & Jalloh, A. (2016). Toward climate-smart agriculture in West Africa: A review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0075-3>



## Spatial Dynamics of Human-Primate Conflicts and Adaptive Coexistence Strategies in Togo: Contributions of Participatory Mapping and Community Perceptions

Noundja Liyabin<sup>1</sup>, Foléga Fousseni<sup>2\*</sup>, Eve Bohnett<sup>3</sup>, Aniko Polo-Akpisso<sup>1\*</sup>, Chabi Djagoun, Wala Kperkouma<sup>1\*</sup>, Komlan Batawila<sup>1\*</sup>, Gabriel Hoinsoide Segniagbeto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Plant Biology, Laboratory of Botany and Plant Ecology; University of Lome, 01, Lome 1515, Togo

<sup>2</sup>Department of Zoology, Faculty of Sciences, University of Lome, 01, Lome 1515, Togo

<sup>3</sup>Fulbright Scholar, Swarthmore College, University of Massachusetts Boston, University of Michigan

### Summary

The protected areas of Togo harbor a rich primate biodiversity that is increasingly threatened by agricultural expansion and mounting anthropogenic pressures. This study investigates the challenges of human–primate coexistence and explores pathways toward the sustainable management of natural resources, with a specific focus on crop depredation conflicts. Empirical data were collected through a combination of ethnoprimate focus group interviews and participatory mapping exercises conducted with twenty-two (22) farming communities adjacent to five protected areas. Spatial analysis was performed using QGIS, and statistical analyses were conducted with Microsoft Excel and R software. The findings reveal that primates are perceived as major contributors to agricultural losses across all surveyed villages, with hotspots of intense crop depredation occurring in close proximity to protected area boundaries. Six recurrent landscape features were spatially delineated: watercourses, roads, human settlements, cultivated fields (particularly those subject to frequent raiding), protected areas, and buffer zones. Twelve primate species were reported by local communities, with *Erythrocebus patas* (23.18%) and *Cercopithecus mona* (19.05%) being the most frequently identified and considered the primary agents of crop damage. The severity of agricultural losses was significantly influenced by the maximum ranging distance of primates (coefficient = 0.00965,  $p < 0.001$ ) and crop diversity (coefficient = -2.044,  $p < 0.001$ ). A typology of three conflict-prone field categories was established: G1 = moderate losses near forest edges, G2 = high losses in immediate proximity to protected areas, and G3 = low losses at greater distances, often coupled with the implementation of various mitigation measures. Local strategies to reduce crop raiding included regular field monitoring (27.90%) and the use of scarecrows (27.20%), along with cultural and religious considerations that shape human–primate interactions. This study underscores the value of participatory mapping as a powerful tool for integrating local ecological knowledge and community perceptions into conservation planning. It offers critical insights for adaptive governance frameworks aimed at fostering peaceful and sustainable human–primate coexistence in Togo's rural landscapes.

**Keywords:** participatory conservation, crop depredation, human–wildlife conflict, community mapping, primates, Togo.

Corresponding author: Liyabin Noundja,

Received in March 2025 and accepted in July 2025

E-mail address: [liyabinnoundja@gmail.com](mailto:liyabinnoundja@gmail.com)

### 1. Introduction

Since the 1990s, Togo has undergone profound landscape transformations, resulting in widespread degradation of ecosystems and natural habitats, including those within legally protected areas. Diverse native ecosystems have been increasingly supplanted by agricultural, agro-pastoral, and urban landscapes, often encroaching upon territories previously designated for biodiversity conservation (Dimobe et al., 2012 ; Martin Ferrari, 2012). During the colonial period, Togo maintained a relatively sophisticated network of protected areas that supported a rich and diverse faunal assemblage, which contributed significantly to tourism and regional ecological stability (Polo-Akpisso et al., 2016 ; Koumantiga et al., 2018 ; Polo-Akpisso et al., 2018). However, the onset of structural deforestation during the political unrest of the 1990s simultaneously precipitated the collapse of wildlife populations and destabilized local economies heavily reliant on forest resources. As

documented by Tchamie (1994), this critical juncture triggered two interlinked crises across Togo's protected landscapes. The escalating degradation of protected areas across sub-Saharan Africa driven by deforestation, agricultural encroachment, and illegal hunting has led to alarming declines in primate populations. For example, populations of West African chimpanzees have declined by more than 80% over the past three decades (Tédonzong et al., 2023), while seven out of ten species of red colobus monkeys are now classified as critically endangered (Linder et al., 2024). Despite their legal protection and ecological significance, these species are experiencing sharp reductions in suitable habitat, including within designated conservation areas (Benítez-Malvido & Arroyo-Rodríguez, 2008).

As primate habitats in Togo become increasingly fragmented, conservation challenges are compounded, threatening both biodiversity and the socio-economic resilience of farming communities that coexist with these species (McAlpine et al., 2016). Habitat disturbances often compel primates to expand their home ranges into agricultural zones, leading to frequent conflict with farmers (Isabirye-Basuta & Lwanga, 2008 ; Bryson-Morrison et al., 2017 ; Mekonnen et al., 2017 ; Mekonnen et al., 2020 ; Ibrahim et al., 2023). Crop depredation events, in turn, result in significant economic losses and often provoke retaliatory responses from affected communities, posing an additional threat to primate conservation (Khatun et al., 2013).

Nonetheless, primates play a crucial ecological role as seed dispersers, thereby sustaining plant regeneration processes and overall forest ecosystem integrity (Cavada et al., 2016 ; Kaisin et al., 2021). The conservation of primates and their habitats thus aligns with broader sustainability frameworks, including several targets of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly those related to terrestrial biodiversity conservation. Effective mitigation of human-wildlife conflicts, such as primate crop raiding, requires a comprehensive understanding of local realities and the integration of community-based knowledge to inform adaptive biodiversity governance (Lee & Priston, 2005 ; Riley, 2007 ; Jones-Engel et al., 2011).

A holistic, interdisciplinary approach that considers ecological, socio-cultural, and spatial dimensions is essential to address these conflicts and foster sustainable human-primate coexistence (Mosandl et al., 2008 ; Nyhus, 2016 ; Luna et al., 2020 ; Alempijevic et al., 2022). Achieving such coexistence is also consistent with long-term biodiversity conservation goals (Assogbadjo & Sinsin, 2007). However, strategic and spatially explicit information to guide these policies remains critically limited in Togo (Dernat et al., 2023). In this context, participatory mapping emerges as a valuable methodological tool for documenting the spatial dynamics of human-primate interactions, identifying conflict hotspots, and supporting habitat conservation planning (Bortolamiol et al., 2013). Moreover, such participatory processes enhance inclusive decision-making and strengthen the capacity of local communities to engage meaningfully in ecosystem stewardship (Burdon et al., 2019 ; Lim et al., 2021).

In light of these interdependent ecological and socio-economic challenges, it is imperative to adopt integrated conservation strategies that support both biodiversity preservation and local resilience. This study aims to contribute to improved natural resource management and biodiversity conservation in Togo by applying participatory mapping approaches. Specifically, it seeks to deepen understanding of human-primate coexistence challenges surrounding protected areas and to identify community-based strategies for the sustainable management of natural resources.

## 2. Materials and methods

### 2.1. Study Area

This study covers five major protected areas across Togo, encompassing diverse ecological zones and climatic gradients: Fazao-Malfakassa National Park, Abdoulaye Faunal Reserve (RFA), the Togodo Complex

(Togodo Nord and Togodo Sud), Alédjo Wildlife Reserve, and the Amou-Mono Classified Forest.

#### ▪ **Fazao-Malfakassa National Park**

Located in the west-central region of Togo along the Atacora mountain range, Fazao-Malfakassa National Park spans approximately 192,000 ha. It lies within the Guinean-Sudanian transition zone (ecofloristic Zone II), between latitudes 8°20' and 9°30' N and longitudes 0°35' and 1°02' E (Ern, 1979). The park features a humid tropical climate and a rich mosaic of vegetation types, including open woodland, dry forest, and gallery forests (Woegan et al., 2013 ; Kamou et al., 2017). It represents one of the most ecologically diverse protected areas in the country.

#### ▪ **Fauna Reserve of Abdoulaye (RFA)**

The Abdoulaye Faunal Reserve is situated in the Tchamba district within ecofloristic Zone III (Ern, 1979), between latitudes 8°34' and 8°47' N and longitudes 1°13' and 1°25' E. It was established by Decree No. 391-51/EF on 7 June 1951 with the goal of ensuring in-situ conservation of biodiversity, including fauna, flora, forest ecosystems, and landscapes (Adjonou et al., 2010 ; Issifou et al., 2022). The reserve serves as a critical refuge for remnant wildlife populations in central Togo.

#### ▪ **Togodo National Park (Togodo Nord and Sud)**

The Togodo protected area complex is located in southeastern Togo, between latitudes 6°40' and 6°50' N and longitudes 1°20' and 1°40' E. It consists of two distinct sites: Togodo Sud Classified Forest (15,000 ha, designated by Decree No. 534/EF on 4 July 1954) and Togodo Nord Classified Forest (80 ha, designated by Decree No. 174/EF on 26 February 1954). Situated in ecofloristic Zone III, the area experiences a sub-equatorial climate, with annual rainfall ranging from 1,000 to 1,300 mm and average monthly temperatures between 25°C and 29°C (Akodewou, 2019).

#### ▪ **Wildlife Reserve of Alédjo**

Alédjo Wildlife Reserve is located at the interface of the Tchaoudjo and Assoli districts, covering approximately 765 ha. Positioned along the Togo Mountains fault line, the reserve lies within ecofloristic Zone II, between latitudes 9°11' and 9°17' N and longitudes 1°00' and 1°24' E (Woegan et al., 2013). It falls under a semi-humid unimodal climate regime, with total annual rainfall ranging from 1,200 to 1,600 mm. Despite its relatively small size, the reserve is ecologically significant due to its location within a mountainous corridor of forest remnants.

#### ▪ **Classified Forest of Amou-Mono**

The Amou-Mono Classified Forest spans 12,780.58 ha across the districts of Ogou, Moyen-Mono, and Haho. It is situated within ecofloristic Zone III, between latitudes 7°08.4' and 7°15.8' N and longitudes 1°22.8' and 1°30.0' E (Figure 1). Initially gazetted by Decree No. 771 of 21 October 1953, the forest was reclassified in 2005 as a natural resource management zone (IUCN Category VI) under Decree No. 003/MERF/CAB of 02 February 2005. The area is characterized by a Sudano-Guinean climate with elevations generally below 400 m (Akodewou, 2019).

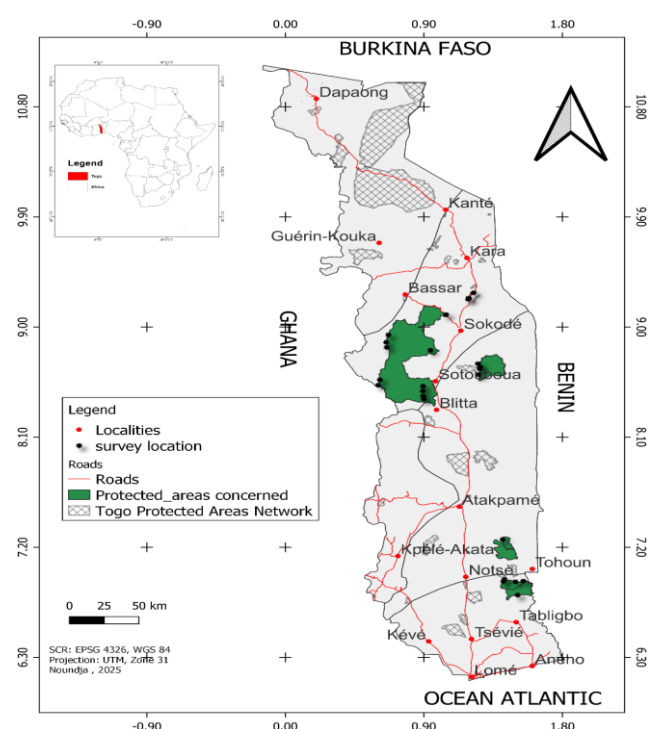


Figure 1: Maps of protected areas and surrounding communities

## 2.2. Data collection

A two-stage hierarchical sampling approach was employed to delineate the study area, targeting habitats favorable to primates and selecting eligible villages. This design allowed for a focused examination of zones most affected by human–primate conflicts. In the first stage, protected areas were selected based on a multicriteria analysis of ecological factors that characterize biophysical habitats suitable for primates. Key parameters included conservation status, anthropogenic pressures (Atakpama et al., 2017 ; Ahissa et al., 2022), hydrography (Kassa et al., 2007), topography, protected area size, and historical records of primate occurrence in Togo (Campbell et al., 2007 ; Campbell-Smith et al., 2010 ; Oates, 2011 ; Agbessi et al., 2017 ; Segniagbeto et al., 2017).

Each parameter was ranked on a three-point scale (1 = low, 2 = moderate, 3 = high) to assess its influence on habitat suitability. These rankings were integrated using an intersection-type spatial multicriteria analysis in ArcGIS 10.3, with the most suitable habitats receiving the highest cumulative scores (Aké et al., 2012 ; Eblin et al., 2017). This analysis identified six key protected areas: Fazao-Malfakassa National Park, Abdoulaye Faunal Reserve, the Togodo protected area complex, Amou-Mono Classified Forest, and the Alédjo Wildlife Reserve.

In the second stage, villages located within a 500-meter buffer zone of these protected areas were prioritized, as this proximity corresponds to zones most vulnerable to crop damage (Naughton-Treves, 1998 ; Naughton-Treves et al., 1998 ; Naughton-Treves, 2002 ; Zoffoun et al., 2019). From these, twenty-two (22) of the most populated villages (RGPH 4) were selected for focus group discussions and participatory mapping.

## 2.3. Ethnozoological Surveys

This study was authorized by the Togolese Ministry of Environment and Forest Resources (Permit No. 0402/MERF/SG/DRF, dated 29/10/2024)

and conducted in accordance with ethical standards governing human–wildlife interaction studies. Following ethnobiological research principles, the methodology was adapted to the socio-cultural and ecological context through a participatory approach grounded in Free, Prior and Informed Consent (FPIC), obtained via consultation with local authorities.

Data collection involved 12 communities adjacent to Fazao-Malfakassa National Park (FMNP), with a sample of 277 participants (84.8% men), including traditional leaders, farmers, hunters, and forest rangers. An ethno-primatological framework guided the use of community-based focus group discussions to gather structured narratives on human–primate coexistence (Zoffoun et al., 2019). Each session, lasting on average 3 hours and 20 minutes, followed a semi-structured guide organized around four core themes: (1) mapping of conflict zones, (2) typology of human–primate interactions, (3) species identification using a standardized photographic guide, and (4) local mitigation strategies (Zoffoun et al., 2019).

Photographic guides featuring primate species known or suspected to occur in Togo were used to support accurate identification by participants (Alempijevic et al., 2022).

## 2.4. Data Processing and Analysis

Interview data were recorded using KoboCollect and exported to Microsoft Excel for processing. Quantitative analyses were conducted using Microsoft Excel and R 4.3.3, combining descriptive statistics (frequencies, cross-tabulations) and inferential statistics, including Fisher's exact test for small samples and Spearman's rank correlation for ordinal data (Abounaima et al., 2020).

Additionally, a typological classification of the surveyed localities was conducted using cluster analysis to categorize villages based on conflict profiles, considering variables such as damage intensity, species involved, estimated maximum travel distance of primates, and mitigation measures used.

## 2.5. Participatory Mapping

A preparatory phase included standardized training for local participants in cartographic principles, including: (1) interpretation of high-resolution orthophotos (Google Earth 2023; 1050×624 pixels; scale 1:40,000), (2) semiological standardization of spatial symbols, and (3) protocols for transferring spatial information to physical maps (Kankeu & Tiani, 2014).

Community mappers, selected from focus group participants under village authority supervision, conducted the mapping using a georeferenced participatory methodology (Kankeu & Tiani, 2014). Spatial features were categorized into three types: Point features (e.g., dwellings, social infrastructure), Polygon features (e.g., fields, forest patches, protected area boundaries), Linear features (e.g., roads, rivers). While linear features exhibited high mapping consistency due to their clear aerial signatures, the mapping of protected area boundaries revealed notable discrepancies, highlighting divergences between local spatial knowledge and formal cartographic representations. Analog maps were digitized (CamScanner 6.88, 600 dpi), then vectorized in QGIS 3.22 via a process involving: (a) georeferencing in the national

coordinate system, (b) precise digitization of spatial entities with topological control, and (c) integration into a relational geospatial database.

Each layer was cross-validated through triangulation between community knowledge, differential GPS data, and satellite imagery (Chapin et al., 2005 ; Palsky, 2010 ; Kankeu & Tiani, 2014).

## 2.6. Field Prospecting

To validate spatial data, community mappers accompanied researchers to conflict zones identified during mapping. During these ground-truthing surveys, GPS coordinates ( $\pm 3$  m accuracy) were systematically recorded to georeference crop damage locations and assess patterns of primate incursions. This phase served two main purposes: (1) empirical verification of the positional accuracy of community maps, and (2) enrichment of spatial data with local ecological insights (Marchal & Hill, 2009). The integration of indigenous knowledge and systematic spatial data collection facilitated a robust, multi-method analysis of the human–primate interface, essential for developing evidence-based mitigation strategies.

## 3. Results

### 3.1. Participatory Mapping Across Different Reserves

The analysis of participatory maps revealed six recurring spatial entities structuring land-use configurations and competing territorial claims: watercourses, roads, human settlements, cultivated fields (particularly those prone to crop-raiding), protected areas, and buffer zones. These maps highlighted local-specific details based on communities' intimate knowledge of the territory, especially regarding access points to protected areas.

#### ▪ The Fazao-Malfakassa National Park, the participatory maps

In the case of the Fazao-Malfakassa National Park, the participatory maps illustrated the current legal boundaries of the park in relation to nearby human settlements. Agricultural plots were found to extend up to the regulatory limits of the protected area, with clearly delineated crop depredation zones adjacent to these boundaries. These damage-prone zones varied in size but were consistently located at the interface between cultivated areas and the park. Areas with lower frequency of primate incursions extended outward from village peripheries, often forming crescent-shaped buffer zones.

The maps also detailed the location of major human settlements, roads, rivers (e.g., Mangu N'Boo, Kpéyi), community forests, public plantations, as well as socio-cultural landmarks such as the Hezoudè community center, village chief palaces, cemeteries, and places of worship. These representations provided crucial insights into community spatial cognition, territorial use patterns, and the physical overlap between human activities and wildlife habitats.

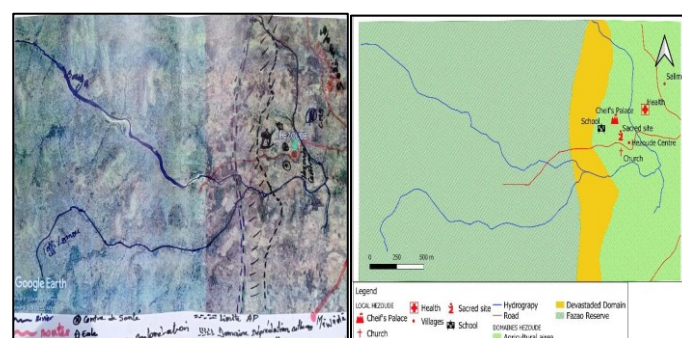


Figure 2: Participatory map of areas of depredation of agricultural crops around the Fazao-Malfakassa National Park

#### ▪ Map of Abdoulaye Reserve

The participatory maps produced by communities surrounding the Abdoulaye Reserve primarily depicted agricultural zones, the protected area, and crop-raiding zones associated with primate incursions. Key landscape features such as rivers, roads, and settlements were clearly represented, along with spatial distinctions between community forests, privately owned forest patches, and transitional corridors.

The Mono River delineates the official boundary of the reserve, beyond which lie cultivated fields. Fields frequently affected by crop damage are typically located at a distance from residential areas, predominantly along the western bank of the Mono River and in the vicinity of private forest habitats. Crop depredations in this area occur mainly prior to the onset of sustained river flooding, corresponding with periods of market gardening, tuber cultivation, or delayed harvests.

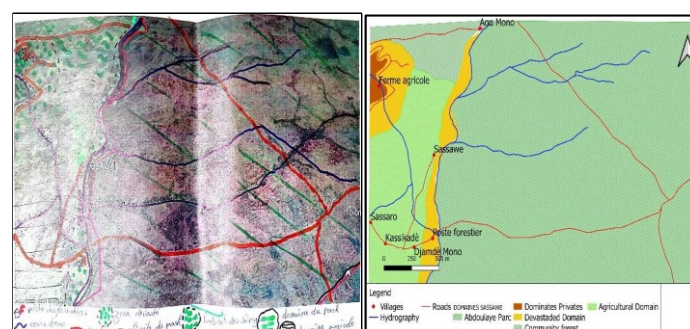


Figure 3: Participatory maps of crop depredation zones around the Abdoulaye Reserve

#### ▪ Maps of Togodo protected areas complex

A distinctive feature of the participatory maps produced by communities around the Togodo complex is the detailed representation of human–primate interactions and the hierarchical distribution of habitats among different primate species. From the outer edge to the interior of the reserve, a succession of habitats is observed: patas monkeys, then mona monkeys, followed by an overlap of colobus monkeys and red-bellied monkeys further inside the reserve. The maps also indicate the Planned Agricultural Development Zones (ZAAP) in the southwest, with the ZAAP directly bordering the reserve experiencing significant crop depredation. Fewer details are provided on human infrastructure, except for roads and rural tracks.

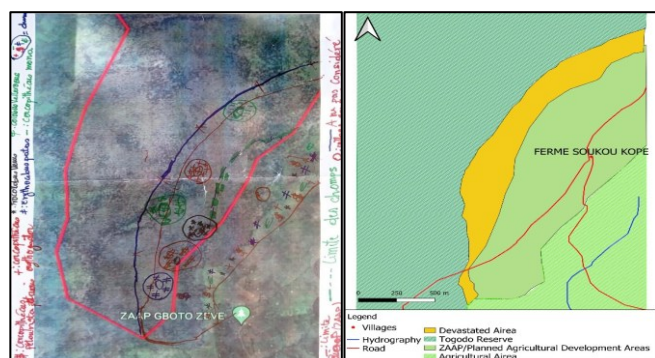


Figure 4: Participatory maps of crop depredation zones around the Togodo Reserve

#### ▪ Maps of Alédjo

All maps of Alédjo delineate the full boundaries of the reserve. They provide more cartographic details, such as the location of telecommunication towers, municipalized plots, the chief's house, the Alédjo Fault, as well as muskets and Fulani camps. Only the protected reserve was recognized as the natural habitat of primates, while crop depredation was concentrated in agricultural zones directly adjacent to the reserve.

#### ▪ Maps of Amou-Mono

The maps produced by communities bordering the Amou-Mono reserve clearly indicate the recognized legal boundaries of the protected area and other geographical entities in the immediate environment. These include rural tracks, watercourses, agricultural zones, and areas subject to crop damage by primates, which form a buffer zone around the reserve. The maps identify the range of primates known in the region, notably *Erythrocebus patas*.

### 3.2. Perceptions of Primate Diversity

Twelve (12) primate species were reported by local communities, with *Erythrocebus patas* being the most frequently recognized (23.18%), followed by *Cercopithecus mona* (19.05%), and *Papio anubis* and *Galago senegalensis* (14% each). In contrast, the least reported species included *Pan troglodytes verus* (1.12%), *Galagoides demidovii*, and *Perodicticus potto juju* (each <1%). Statistical analysis revealed significant differences in species recognition among communities ( $r^2 = 0.80$ ;  $p < 0.001$ ). Spatial ubiquity analysis showed that *Erythrocebus patas* was reported in 100% of the protected areas surveyed, followed by *Papio anubis* and *Chlorocebus aethiops* (each in 80%, or 4 out of 5 sites). Less frequently identified species included *Pan troglodytes verus* and *Procolobus verus*, both reported only near Fazao-Malfakassa and Togodo, while *Galagoides demidovii* and *Perodicticus potto juju* were exclusively associated with the Fazao-Malfakassa National Park (1 out of 5 sites) (Table 1). The chimpanzee (*Pan troglodytes verus*) and the Juju (*Perodicticus potto juju*) are well known to the population but with no confirmed recent sightings and are probably locally extinct. Seven of the twelve identified species were reported to engage in crop depredation in the areas surrounding their habitats. The two primary culprits were *Erythrocebus patas* (55.14%) and *Cercopithecus mona* (32.07%) of all mentions (Table 1). ANOVA results indicated a significant association between the type of crops being damaged and the protected area concerned ( $F = 47.04$ ,  $p < 0.001$ ).

Table 1. Specific richness of primates according to the protected areas studied.

| Species                                    | Fauna Reserve of Abdoulaye | Wildlife Reserve of Alédjo | Classified Forest of Amou-Mono | Fazao Malfakassa National Park | Togodo National Park | Relative frequency reported (%) |
|--------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| <i>Erythrocebus patas</i>                  | ***                        | **                         | **                             | ***                            | **                   | 23,18                           |
| <i>Cercopithecus mona</i>                  | **                         | NC                         | NC                             | **                             | **                   | 19,05                           |
| <i>Galago senegalensis</i>                 | **                         | NC                         | NC                             | **                             | 0                    | 14,83                           |
| <i>Papio anubis</i>                        | **                         | NC                         | NC                             | **                             | *                    | 14,11                           |
| <i>Cercopithecus erythrogaster</i>         | NC                         | NC                         | 0                              | 0                              | **                   | 11,33                           |
| <i>Colobus vellerosus</i>                  | 0                          | NC                         | NC                             | **                             | **                   | 4,37                            |
| <i>Cercopithecus pataurista pataurista</i> | NC                         | NC                         | 0                              | *                              | 0                    | 4,22                            |
| <i>Procolobus verus</i>                    | NC                         | NC                         | NC                             | **                             | 0                    | 3,70                            |
| <i>Chlorocebus aethiops</i>                | ***                        | ***                        | 0                              | ***                            | *                    | 2,87                            |
| <i>Pan troglodytes verus</i>               | NC                         | NC                         | NC                             | 0                              | 0                    | 1,12                            |
| <i>Galagoides demidovii</i>                | NC                         | NC                         | NC                             | **                             | NC                   | 0,71                            |
| <i>Perodicticus potto juju</i>             | NC                         | NC                         | NC                             | 0                              | NC                   | 0,50                            |

Legend: NC unrecognized or unidentified; 0 extinct; \* rare and unlikely; \*\* low abundant; \*\*\* abundant species. It is important to note the difference between unidentified and switched off. Unidentified species are species that have never been seen before, whereas extinct species are those that existed in the past but are no longer present.

### 3.3. Factors Influencing the Intensity of Agricultural Losses

Correlation analysis revealed that the maximum ranging distance of primates is positively and significantly correlated with the intensity or amount of annual reported agricultural losses ( $r^2 = 0.53$ ,  $p < 0.001$ ). The amount of crop loss is also associated with the diversity of predator species ( $r^2 = 0.23$ ,  $p = 0.006$ ). However, there is no significant correlation between the maximum ranging distances estimated by communities and those actually measured ( $r^2 = 0.05$ ,  $p = 0.543$ ). The mean distances were 647.8 m (estimated) and 443.2 m (measured), suggesting a local overestimation.

Two distinct prevalence zones were identified: a high-prevalence zone (300 m) and a low-prevalence zone (2,000 m) in Mewedè, Hezoudè, Matchatom, and Kpetchila. The shortest distances (50 m) were reported in the western part of the Abdoulaye Wildlife Reserve.

Multiple regression analysis of ecological variables related to human-primate conflicts around Togo's protected areas indicated that maximum ranging distance (coefficient = 0.00965,  $p < 0.001$ ) and crop diversity

(coefficient = -2.044,  $p < 0.001$ ) significantly influence the intensity or quantity of agricultural losses. The multiple regression model proved to be stable

Tableau 2: Results of multiple regression of variables influencing agricultural losses

| Variable           | Estimate | Std. Error | T-value | P-value | Signif. |
|--------------------|----------|------------|---------|---------|---------|
| Estimated_distance | 0.00965  | 0.00140    | 6.90    | 2e-10   | ***     |
| Assessed_distance  | -0.00044 | 0.00316    | -0.138  | 0.890   |         |
| Predator_species   | 0.743    | 0.541      | 1.373   | 0.172   |         |
| Ptotected_area     | -0.030   | 0.833      | -0.036  | 0.971   |         |
| Crop_devastated    | -2.044   | 0.727      | -2.812  | 0.0057  | **      |
| Control_measure    | 1.174    | 0.850      | 1.381   | 0.170   |         |

Legend: Significance rate for variables influencing farm losses \*\*\* very high significance rat

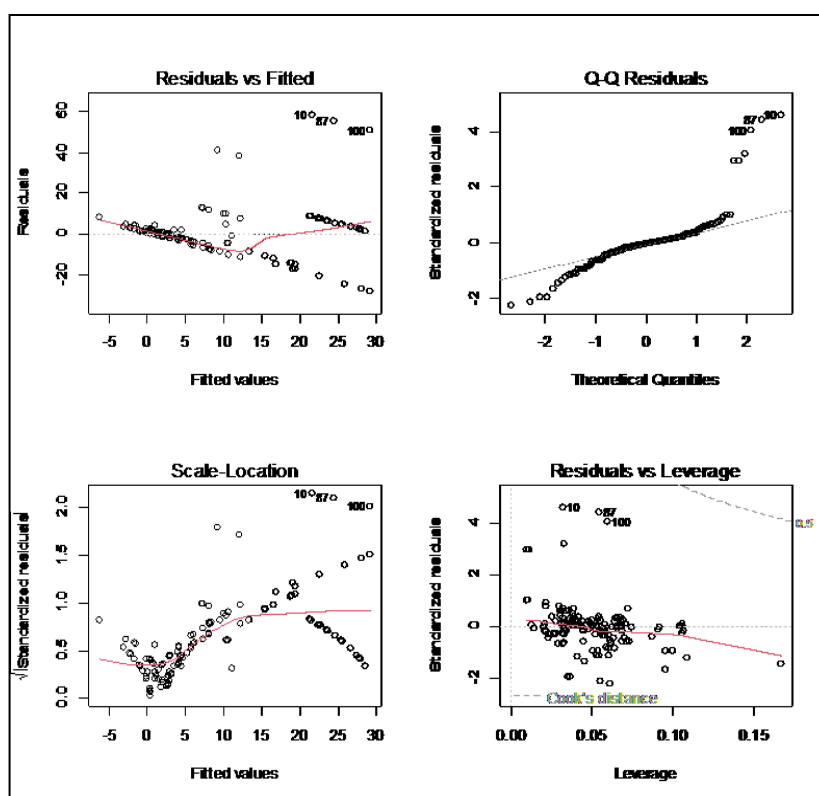


Figure 5: statistical model for diagnosing multiple regression of human-primate conflicts linked to depredation

### 3.4. Typology of Conflict Profiles and Management Implications

The typological analysis of communities adjacent to protected areas revealed three distinct groups based on differing conflict profiles (G1, G2, and G3). Group 1 (G1) includes communities with moderate crop losses and located relatively close to protected areas. Group 2 (G2) consists of communities situated very close to protected areas, experiencing high levels of crop loss and implementing few control measures. Group 3 (G3) comprises more distant communities with relatively low crop losses and a wide range of control strategies. ANOVA testing confirmed that the groups differ significantly in terms of the intensity of annual agricultural losses ( $F = 12.3$ ,  $p < 0.001$ ).

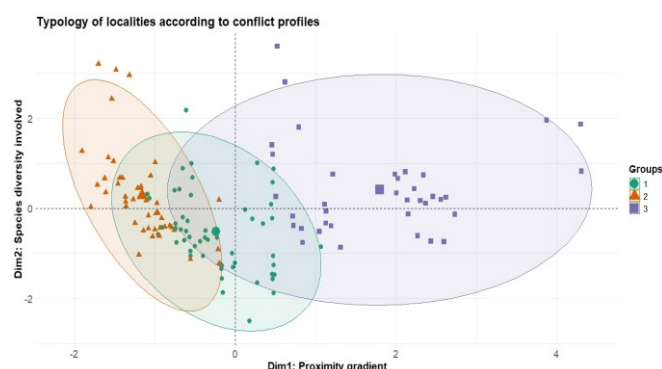


Figure 7: typology of riparian fields according to human-primate conflict profiles on crop depredation

### Local Strategies for Coexistence with Primates

Six local strategies or depredation mitigation measures are employed to manage conflicts and reduce the intensity of damage caused by primates. The most commonly used strategies are regular monitoring (27.90%) and the deployment of scarecrows (27.20%). Following these, the adoption of less palatable crops and regular hunting are moderately applied, accounting for 16.17% and 13.10% respectively. Lastly, the least frequently implemented measures include the production of sounds and noise (9.40%) and the use of fire and smoke (6.23%).

Regarding perceived effectiveness, the most efficacious measures reported are regular monitoring (41.72%), installation of scarecrows (27.54%), crop substitution with less preferred species (17.59%), and the generation of auditory deterrents (13.14%). The effectiveness of these measures varies significantly across localities ( $r^2 = 0.8$ ,  $p < 0.001$ ).

In addition to these technical approaches, biodiversity management practices that respect primate habitats and species are observed. Notably, cultural and religious practices including religious prohibitions, taboos, totems, and the conservation of community forests that serve as primate habitats play a crucial role.

Cultural and religious perceptions of primate species vary considerably among ethnocultural groups ( $r^2 = -0.73$ ,  $p < 0.05$ ). Totemic species reported include *Colobus vellerosus* and *Cercopithecus erythrogaster*, recognized respectively by 91% and 67% of the Ewe and Adja communities around the Togodo complex. Other species such as *Chlorocebus tantalus*, *Erythrocebus patas*, and *Papio anubis*, though less

frequently mentioned, hold cultural and totemic significance for certain Kotokoli, Bassar, and Kabyè communities residing near the Fazao Malfacassa and Alédjo reserves. Among the Muslim communities (Kotokoli, Bassar, and Peuhl) encountered, the consumption of monkeys is explicitly prohibited.

#### 4. Discussion

Participatory mapping of natural habitats and primate crop depredation zones around protected areas in Togo reveals six main types of spatial units: rivers, roads, agricultural lands, protected areas, and frequently degraded agricultural zones. Variations in specific map details may be attributed to local particularities related to natural features or the communities' intimate knowledge and access to the protected areas. The detailed maps of Togodo, which illustrate a hierarchical arrangement of primate-specific habitats, likely reflect the differential adaptability of primates to human influence and the local communities' profound understanding of their environment. Participatory mapping thus serves as an effective tool to assess local knowledge and their potential for sustainable and integrated management of wildlife resources and habitats (Nonjon & Liagre, 2012 ; Diop et al., 2022). Tsakem et al. (2015) recommend participatory mapping as a strategic means for resolving human-wildlife coexistence conflicts. A key outcome of this approach is highlighting the recognition of regulatory boundaries of protected areas, which may help to reconcile critical discrepancies between local perceptions of protected area limits and official cartographic representations. By capturing indigenous spatial knowledge, participatory mapping is recognized as a strategic method for resolving human-wildlife conflicts.

The delineation of crop depredation zones fits within this framework of managing coexistence between primates and local farmers. The maximum foraging distance varies considerably and is defined based on the frequency of occurrence and severity of damage. The discrepancy between the estimated mean maximum foraging distance (647.8 m) and the observed one (443.2 m) may reflect overestimations (Mackenzie & Ahabyona, 2012). Results indicate that zones of intense crop depredation are located in close proximity to protected area boundaries while the maximum foraging distance positively correlates with cumulative agricultural losses. This apparent contradiction is explained by distinguishing between damage intensity and cumulative damage quantity. Variability in maximum incursion distances delineating high- and low-occurrence zones is likely influenced by human presence around settlements (Hickey et al., 2013 ; Kambire et al., 2021). Additionally, this variability may indicate the determined behavior of predators to reach specific, more lucrative resources. This finding aligns with hypotheses concerning the sensitivity of certain depredating species, such as chimpanzees and bonobos, whose movements are influenced by fruit availability and human presence (Blanco & Waltert, 2013).

The three distinct categories of fields help elucidate the influence of distance and human presence. Fields closest to primate habitats, with minimal control measures, suffer the greatest losses, whereas more distant fields, equipped with a wider array of mitigation strategies, experience relatively lower losses despite higher diversity of crop raiders. This zoning underscores the necessity to understand and map

the maximum foraging distances of primates to design effective crop depredation management strategies (Zoffoun et al., 2019).

Analysis of conflict patterns suggests that increased crop diversity (coefficient = -2.044) may reduce the intensity of agricultural losses, whereas monocultures present more attractive and accessible targets for primates. These results corroborate findings by Estrada et al. (2017) ; Korchia (2020), which link crop raiding behavior to food availability and species preference for disturbed areas. Given these specificities, it is recommended that control and mitigation measures be tailored to conflict zone typologies (Dickman et al., 2013). Establishing buffer zones around protected areas may be most appropriate in high-prevalence zones (Perelló et al., 2012). Typologies of buffer zones involving the planting of thorny barriers such as *Caesalpinia bonduc* (Zoffoun et al., 2019), tea, or chili fields (Bortolamiol et al., 2013 ; Chapman et al., 2018) may also prove locally effective. These buffer measures would be particularly relevant for Fazao-Malfakassa National Park and the Togodo complex, which exhibit the greatest maximum foraging distances. For Abdoulaye Reserve, where crop raiding primarily occurs during off-season vegetable cultivation, chili fields could offer substantial mitigation potential.

Understanding local knowledge was fundamental to diagnosing the problem of depredation and identifying the primate species most detrimental to farmers (Gadgil et al., 1993 ; Dentzau, 2019). As Karimullah et al. (2022) emphasize, enhanced understanding of human-wildlife interactions especially involving primates can promote positive behavioral change and inform effective conflict mitigation strategies. Such strategies are more successful when integrated with local socio-ecological contexts (Hockings & McLennan, 2012 ; Bryson-Morrison et al., 2017 ; Estrada et al., 2017 ; Mekonnen et al., 2020). Hence, participatory maps of crop depredation zones around protected areas in Togo provide critical insights into the dynamics between primates and farming communities, laying a foundation for sustainable coexistence strategies. This integrated approach acknowledges shared responsibility between humans and wildlife, as conflicts generally arise either from human encroachment into natural habitats or wildlife intrusion into human-dominated areas (White & Ward, 2010 ; Young et al., 2020).

#### 5. Conclusion

Participatory mapping of primate habitats in Togo represents an innovative and collaborative approach for promoting the sustainable management of natural resources and harmonious coexistence between local populations and wildlife. Farmer's perceptions of living near protected areas and their experiences with primates are strongly influenced by the extent of the damage caused by crop depredation that they endure. By employing participatory mapping of primate habitat, this study has clarified areas of conflict between primates and local farming populations, delineating areas of high crop damage closest to the boundaries of protected areas. This approach offers promising prospects for balanced ecosystem management and conflict management, encouraging more peaceful human-wildlife interactions in Togo. Nevertheless, future research is needed to deepen our understanding of human-primate interactions and explore viable solutions to strengthen the commitment of local communities to

conservation. Further studies should also evaluate the socio-economic implications of crop depredation and consider other wildlife species to support an integrated and holistic natural resource management.

# Acknowledgements

We are grateful for Laboratory of Botany and Plant Ecology, Faculty of Sciences, University of Lomé for research framework and all assistance from those responsible during the fieldwork. The authors also thank the IDEA Wild Foundation for granting to the first author a grant in high-quality research materials to the achievement of our research project.

**Consent for publication:** Not applicable.

**Conflict of interest:** The authors declare that they have no conflicts of interest.

**Funding:** The research received no specific grant from funding agencies.

**Consent for publication:** Not applicable.

**Ethics approval consent to participate:** An official research authorization (No. 0402/MERF/SG/DRF dated October 29, 2024) was obtained from the Ministry of Environment and Forest Resources of Togo, ensuring compliance with national ethical and legal standards.

# Author contributions:

Conceptualisation : Noundja Liyabin, Folega Fousseni, Eve Bohnett;

Data management: Noundja Liyabin, Folega Fousseni;

Formal analysis: Noundja Liyabin, Folega Fousseni;

Methodology: Noundja Liyabin, Folega Fousseni;

Supervision Validation: Noundja Liyabin

# Reference

Abounaima M. C., El Mazouri F. Z., Lamrini L., Nfissi N., El Makhfi N., Ouzarf M., 2020. The pearson correlation coefficient applied to compare multi-criteria methods: case the ranking problematic. 2020 1st international conference on innovative research in applied science, engineering and technology (IRASET): IEEE. 1-6.

Adjonou K., Ali N., Kokutse A. D., Novigno S. K., 2010. Study of the dynamics of natural stands of overexploited *Pterocarpus ericaceus* Poir (Fabaceae) in Togo. *Bois & Forêts des Tropiques*, 306: 45-55.DOI:10.19182/bft2010.306.a20431

Agbessi K. E., Ouedraogo M., Camara M., Segniagbeto H., HOUNGBEDJI M. B., Kabre A. T., 2017. Spatial distribution of the red-bellied monkey *Cercopithecus erythrogaster erythrogaster* Gray and threats to its sustainable conservation in Togo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 11(1): 157-173.DOI:10.4314/ijbcs.v11i1.13

Ahissa L., Akpatou K. B., Kouakou Hilaire Bohoussou B., Kadjo I. K., 2022. Effects of anthropization of natural habitats on the community structure of terrestrial small mammals in a biodiversity hotspot, Côte d'Ivoire. DOI:10.35759/JAnmPLSci.v54-2.1.DOI:10.35759/JAnmPLSci.v54-2.1

Aké G. É., Kouadio B. H., Adja M. G., Ettien J. B., Effebi K. R., Biémi J., 2012. Cartographie de la vulnérabilité multifactorielle à l'érosion hydrique des sols de la région de Bonoua (Sud-Est de

la Côte d'Ivoire). *Physio-Géo. Géographie physique et environnement*, 6: 1-42.DOI:10.4000/physio-geo.2285

Akodewou A., 2019. Trajectoires paysagères et biodiversité: effets de l'anthropisation sur les plantes envahissantes à l'échelle de l'Aire Protégée Togodo et sa périphérie dans le sud-est du Togo. Institut Agronomique Vétérinaire et Forestier de France (IAVFF), AgroParisTech, p.

Alempijevic D., Hart J. A., Hart T. B., Detwiler K. M., 2022. Using local knowledge and camera traps to investigate occurrence and habitat preference of an Endangered primate: the endemic dryas monkey in the Democratic Republic of the Congo. *Oryx*, 56(2): 260-267.DOI:10.1017/S0030605320000575

Assogbadjo A. E., Sinsin B., 2007. Les populations de primates menacés dans la forêt de Lokoli (Bénin).

Atakpama W., Folega F., Azo A. K., Pereki H., Mensah K., Wala K., Akpagana K., 2017. Cartographie, diversité et structure démographique de la forêt communautaire d'Amavénou dans la préfecture d'Agou au Togo. *Rev. Géog. Univ. Ouagadougou*, 2(6): 59-82,

Benítez-Malvido J., Arroyo-Rodríguez V., 2008. Habitat fragmentation, edge effects and biological corridors in tropical ecosystems: Eolss Publishers, Oxford, p.

Blanco V., Waltert M., 2013. Does the tropical agricultural matrix bear potential for primate conservation? A baseline study from Western Uganda. *Journal for Nature Conservation*, 21(6): 383-393.DOI:10.1016/j.jnc.2013.04.001

Bortolamiol S., Krief S., Jiguet F., Palibrk M., Protase R., Kasenene J., Seguya A., Cohen M., 2013. Spatial analysis of natural and anthropogenic factors influencing chimpanzee repartition in Sebitoli (Kibale National Park, Uganda).

Bryson-Morrison N., Tzanopoulos J., Matsuzawa T., Humle T., 2017. Activity and habitat use of chimpanzees (*Pan troglodytes verus*) in the anthropogenic landscape of Bossou, Guinea, West Africa. *International Journal of Primatology*, 38: 282-302.DOI:10.1007/s10764-016-9947-4

Burdon D., Potts T., McKinley E., Lew S., Shilland R., Gormley K., Thomson S., Forster R., 2019. Expanding the role of participatory mapping to assess ecosystem service provision in local coastal environments. *Ecosystem services*, 39: 101009.DOI:10.1016/j.ecoser.2019.101009

Campbell-Smith G., Simanjorang H. V., Leader-Williams N., Linkie M., 2010. Local attitudes and perceptions toward crop-raiding by orangutans (*Pongo abelii*) and other nonhuman primates in northern Sumatra, Indonesia. *American Journal of Primatology*, 72(10): 866-876.DOI:10.1002/ajp.20822

Campbell G., Teichroeb J., Paterson J. D., 2007. Distribution of diurnal primate species in Togo and Bénin. *Folia Primatologica*, 79(1): 15-30.DOI:10.1159/000108383

Cavada N., Barelli C., Ciolli M., Rovero F., 2016. Primates in human-modified and fragmented landscapes: the conservation relevance of modelling habitat and disturbance factors in density estimation. *PLoS One*, 11(2): e0148289.DOI:10.1371/journal.pone.0148289

- Chapin M., Lamb Z., Threlkeld B., 2005. Mapping indigenous lands. *Annu. Rev. Anthropol.*, 34(1): 619-638.DOI:10.1146/annurev.anthro.34.081804.120429
- Chapman C. A., Bortolamiol S., Matsuda I., Omeja P. A., Paim F. P., Reyna-Hurtado R., Sengupta R., Valenta K., 2018. Primate population dynamics: variation in abundance over space and time. *Biodiversity and Conservation*, 27: 1221-1238.DOI:10.1007/s10531-017-1489-3
- Dentzau M. W., 2019. The tensions between indigenous knowledge and western science. *Cultural Studies of Science Education*, 14: 1031-1036,
- Dernat S., Dumont B., Vollet D., 2023. La Grange®: A generic game to reveal trade-offs and synergies among stakeholders in livestock farming areas. *Agricultural Systems*, 209: 103685.DOI:10.1016/j.agsy.2023.103685
- Dickman A., Marchini S., Manfredo M., 2013. The human dimension in addressing conflict with large carnivores. *Key topics in conservation biology* 2, 110-126.
- Dimobe K., Wala K., Batawila K., Dourma M., Woegan Y. A., Akpagana K., 2012. Analyse spatiale des différentes formes de pressions anthropiques dans la réserve de faune de l'Oti-Mandouri (Togo). *Vertigo-la revue électronique en sciences de l'environnement* DOI:10.4000/vertigo.12423(Hors-série 14).DOI:10.4000/vertigo.12423
- Diop M., Niang-Diop F., Dieng S. D., Samb A., Manga G. E. D., Sané A. P., Sène M. B., Sambou B., Goudiaby A., Diatta E. A., 2022. Ethnobotanical study of medicinal plants for treatment of diabetes and hypertension used in communities near Fathala Forest, Senegal. *Ethnobotany Research and Applications*, 23: 1-15.DOI:10.32859/era.23.7.1-15
- Eblin S. G., Yao A. B., Anoh K. A., Soro N., 2017. Mapping of multifactorial vulnerability to soil erosion risks in the Adiaké region, south-eastern coastal Côte d'Ivoire. *Sci. Technol*, 30: 197-216.DOI:10.30564/jees.v7i1.6932
- Ern H., 1979. Die vegetation togos. gliederung, gefährdung, erhaltung. *Willdenowia*: 295-312
- Estrada A., Garber P. A., Rylands A. B., Roos C., Fernandez-Duque E., Di Fiore A., Nekaris K. A. I., Nijman V., Heymann E. W., Lambert J. E., 2017. Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science advances*, 3(1): e1600946.DOI:10.1126/sciadv.1600946
- Gadgil M., Berkes F., Folke C., 1993. Indigenous knowledge for biodiversity conservation. *AMBIO-STOCKHOLM*, 151-151.
- Hickey J. R., Nackoney J., Nibbelink N. P., Blake S., Bonyenge A., Cox S., Dupain J., Emetshu M., Furuichi T., Grossmann F., 2013. Human proximity and habitat fragmentation are key drivers of the rangewide bonobo distribution. *Biodiversity and Conservation*, 22: 3085-3104.DOI:10.1007/s10531-013-0572-7
- Hockings K. J., McLennan M. R., 2012. From forest to farm: systematic review of cultivar feeding by chimpanzees--management implications for wildlife in anthropogenic landscapes. *PLoS One*, 7(4): e33391.DOI:10.1371/journal.pone.0033391
- Ibrahim H., Bekele A., Fashing P. J., Nguyen N., Yazezew D., Moges A., Venkataraman V. V., Mekonnen A., 2023. Feeding ecology of a highland population of hamadryas baboons (*Papio hamadryas*) at Borena-Sayint National Park, northern Ethiopia. *Primates*, 64(5): 513-526.DOI:10.1007/s10329-023-01077-6
- Isabirye-Basuta G. M., Lwanga J. S., 2008. Primate populations and their interactions with changing habitats. *International Journal of Primatology*, 29: 35-48.DOI:10.1007/s10764-008-9239-8
- Issifou A., Folega F., Kombate B., Atakpama W., Batawila K., Ketoh G., Akpagana K., 2022. Cartographie participative des terroirs riverains de la réserve de faune d'Abdoulaye au Togo. *Rev. Écosystèmes et Paysages*, 1: 83-97,
- Jones-Engel L., Engel G., Gumert M. D., Fuentes A., 2011. Developing sustainable human-macaque communities. *Monkeys on the edge: Ecology and management of long-tailed macaques and their interface with humans*, 295.
- Kaisin O., Fuzessy L., Poncin P., Brotcorne F., Culot L., 2021. A meta-analysis of anthropogenic impacts on physiological stress in wild primates. *Conservation Biology*, 35(1): 101-114.DOI:10.1111/cobi.13656
- Kambire S. B., Ouattara K., Kouakou J. L., Kone I., 2021. Variabilité saisonnière et disponibilité des ressources alimentaires végétales consommées par les Mones de Lowe *Cercopithecus lowei* Thomas, 1923 dans la forêt de l'Université Nangui Abrogoua, Abidjan-Côte d'Ivoire. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 15(5): 2023-2037.DOI:10.4314/ijbcs.v15i5.26
- Kamou H., Nadjombe P., Gbogbo A. K., Yorou S. N., Batawila K., Akpagana K., Guelly K. A., 2017. Les champignons ectomycorrhiziens consommés par les Bassar et les Kabyè, peuples riverains du Parc National Fazao-Malfakassa (PNFM) au Togo (Afrique de l'Ouest). *Revue Marocaine des Sciences Agronomiques et Vétérinaires*, 5(2), [https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes\\_IAPH2/article/view/447](https://www.agrimaroc.org/index.php/Actes_IAPH2/article/view/447)
- Kankeu R. S., Tiani A. M., 2014. Guide de cartographie participative géoréférencée pour la gestion communautaire du terroir: CIFOR, p.
- Karimullah K., Widdig A., Sah S. A. M., Amici F., 2022. Understanding potential conflicts between human and non-human-primates: a large-scale survey in Malaysia. *Biodiversity and Conservation*, 31(4): 1249-1266.10.1007/s10531-022-02386-w
- Kassa B., Nobimè G., Hanon L., Assogbadjo A., Sinsin B., 2007. Caractéristiques de l'habitat du singe à ventre rouge (*Cercopithecus e. erythrogaster*) dans le Sud-Bénin. *Actes du Séminaire International sur l'aménagement et la gestion des aires protégées de l'Afrique de l'Ouest. Quelles aires protégées pour l'Afrique de l'Ouest*.
- Khatun U. H., Ahsan M. F., Røskft E., 2013. Local People's Perceptions of Crop Damage by Common Langurs (*Semnopithecus entellus*) and Human-Langur Conflict in Keshabpur of Bangladesh. *Environment and Natural Resources Research*, 3(1): 111.DOI:10.5539/enrr.v3n1p111

- Korchia C. S. F., 2020. Behavioral Ecology of *Cercopithecus lomamiensis* in the Lomami National Park and Buffer Zone, Democratic Republic of the Congo. Florida Atlantic University, p.
- Koumantiga D., Wala K., Kanda M., Dourma M., Akpagana K., 2018. Aires protégées et écotourisme de vision de la grande faune: développement d'une approche méthodologique pour évaluer les circuits et application au complexe Oti-Kéran-Mandouri au Togo (Afrique de l'Ouest). *Études caribéennes* DOI:10.4000/etudescaribeennes.13801(41).DOI:10.4000/etudescaribeennes.13801
- Lee P. C., Priston N. E., 2005. Human attitudes to primates: perceptions of pests, conflict and consequences for primate conservation. *Commensalism and conflict: The human-primate interface*, 1-23.
- Lim V. C., Justine E. V., Yusof K., Wan Mohamad Ariffin W. N. S., Goh H. C., Fadzil K. S., 2021. Eliciting local knowledge of ecosystem services using participatory mapping and Photovoice: A case study of Tun Mustapha Park, Malaysia. *PLoS One*, 16(7): e0253740.DOI:10.1371/journal.pone.0253740
- Linder J. M., Cronin D. T., Ting N., Abwe E. E., Aghomo F., Davenport T. R., Detwiler K. M., Galat G., Galat-Luong A., Hart J. A. J. C. L., 2024. To conserve African tropical forests, invest in the protection of its most endangered group of monkeys, red colobus. 17(3): e13014.DOI:10.1111/conl.13014
- Luna T. O., Zhunusova E., Günter S., Dieter M., 2020. Measuring forest and agricultural income in the Ecuadorian lowland rainforest frontiers: Do deforestation and conservation strategies matter? *Forest Policy and Economics*, 111: 102034.DOI:10.1016/j.forpol.2019.102034
- Mackenzie C. A., Ahabyona P., 2012. Elephants in the garden: financial and social costs of crop raiding. *Ecological economics*, 75: 72-82.DOI:10.1016/j.ecolecon.2011.12.018
- Marchal V., Hill C., 2009. Primate crop-raiding: a study of local perceptions in four villages in North Sumatra, Indonesia. *Primate Conservation*, 24(1): 107-116.DOI:10.1896/052.024.0109
- Martin Ferrari D., 2012. Forêts tropicales du mythe à la résilience. *Vraiment durable* DOI:10.3917/vdur.002.0043(2): 43-54.DOI:10.3917/vdur.002.0043
- McAlpine C., Catterall C. P., Nally R. M., Lindenmayer D., Reid J. L., Holl K. D., Bennett A. F., Runtig R. K., Wilson K., Hobbs R. J., 2016. Integrating plant-and animal-based perspectives for more effective restoration of biodiversity. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 14(1): 37-45.DOI:10.1002/16-0108.1
- Mekonnen A., Fashing P. J., Bekele A., Hernandez-Aguilar R. A., Rueness E. K., Nguyen N., Stenseth N. C., 2017. Impacts of habitat loss and fragmentation on the activity budget, ranging ecology and habitat use of Bale monkeys (*Chlorocebus djamdjamensis*) in the southern Ethiopian Highlands. *American Journal of Primatology*, 79(7): e22644.DOI:10.1002/ajp.22644
- Mekonnen A., Fashing P. J., Bekele A., Stenseth N. C., 2020. Distribution and conservation status of *Boutourlini's* blue monkey (*Cercopithecus mitis boutourlinii*), a Vulnerable subspecies endemic to western Ethiopia. *Primates*, 61(6): 785-796.DOI:10.2305/IUCN.UK.2008.RLTS.T136901A4349249
- Mosandl R., Günter S., Stimm B., Weber M., 2008. Ecuador suffers the highest deforestation rate in South America. *Gradients in a tropical mountain ecosystem of Ecuador*, 37-40.
- Naughton-Treves L., 1998. Predicting patterns of crop damage by wildlife around Kibale National Park, Uganda. *Conservation Biology*, 12(1): 156-168.DOI:10.1111/j.1523-1739.1998.96346.x
- Naughton-Treves L., 2002. Wild animals in the garden: Conserving wildlife in Amazonian agroecosystems. *Annals of the Association of American Geographers*, 92(3): 488-506.DOI:10.1111/1467-8306.00301
- Naughton-Treves L., Treves A., Chapman C., Wrangham R., 1998. Temporal patterns of crop-raiding by primates: linking food availability in croplands and adjacent forest. *Journal of applied ecology*, 35(4): 596-606.DOI:10.1046/j.1365-2664.1998.3540596.x
- Nonjon M., Liagre R., 2012. Une cartographie participative est-elle possible? *EspacesTemps.net*,
- Nyhus P. J., 2016. Human-wildlife conflict and coexistence. *Annual review of environment and resources*, 41(1): 143-171.DOI:10.1146/annurev-environ-110615-085634
- Oates J. F., 2011. *Primates of West Africa: a field guide and natural history*, p.
- Palsky G., 2010. Cartes participatives, cartes collaboratives. *La cartographie comme maïeutique-Le Comité Français de Cartographie (CFC)*, Paris, 205: 49-59.DOI:10.3917/lig.774.0010
- Perelló L. F. C., Guadagnin D. L., Maltchik L., dos Santos J. E., 2012. Ecological, legal, and methodological principles for planning buffer zones. *Natureza & Conservação*, 10(1): 3-11.DOI:10.4322/natcon.2012.002
- Polo-Akpisso A., Folega F., Soulemame O., Atakpama W., Coulibaly M., Wala K., Röder A., Akpagana K., Yao T., 2018. Habitat biophysical and spatial patterns assessment within Oti-Kéran-Mandouri protected area network in Togo. DOI:10.5897/IJBC2017.1139.DOI:10.5897/IJBC2017.1139
- Polo-Akpisso A., Wala K., Ouattara S., Folega F., Tano Y., 2016. Changes in land cover categories within Oti-Kéran-Mandouri (OKM) complex in Togo (West Africa) between 1987 and 2013. *Implementing Climate Change Adaptation in Cities and Communities: Integrating Strategies and Educational Approaches*, 3-21.
- Riley E. P., 2007. The human-macaque interface: conservation implications of current and future overlap and conflict in Lore Lindu National Park, Sulawesi, Indonesia. *American Anthropologist*, 109(3): 473-484.DOI:10.1525/aa.2007.109.3.473
- Segniagbeto G. H., Assou D., Koda K. D., Agbessi E. K. G., Atsri K. H., Dendi D., Luiselli L., Decher J., Mittermeier R. A., 2017. Survey of the status and distribution of primates in Togo (West Africa). *Biodiversity*, 18(4): 137-150.DOI:10.1080/14888386.2017.1404930

- Tchamie T. T. K., 1994. Learning from local hostility to protected areas in Togo. *Unasylva*, 176(45), <https://hdl.handle.net/10535/8498>
- Tédonzong L. R. D., Ndju'u M. B. M., Tchamba M., Angwafo T. E., Lens L., Tagg N., Willie J. J. A. J. o. P., 2023. The influence of vegetation structure on sleeping site selection by chimpanzees (*Pan troglodytes troglodytes*). 85(7): e23505.DOI:10.1002/ajp.23505
- Tsakem S. C., Tchamba M., Weladji R. B., 2015. Les gorilles du Parc National de Lobéké (Cameroun): interactions avec les populations locales et implications pour la conservation. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(1): 270-280.DOI:10.4314/ijbcs.v9i1.24
- White P. C., Ward A. I., 2010. Interdisciplinary approaches for the management of existing and emerging human--wildlife conflicts. *Wildlife Research*, 37(8): 623-629.DOI:10.1071/WR10191
- Woegan Y. A., Akpavi S., Dourma M., Atato A., Wala K., Akpagana K., 2013. Etat des connaissances sur la flore et la phytosociologie de deux aires protégées de la chaîne de l'Atakora au Togo: Parc National Fazao-Malfakassa et Réserve de Faune d'Alédjo. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 7(5): 1951-1962.DOI:10.4314/ijbcs.v7i5.14
- Young J., Mitchell C., Redpath S. M., 2020. Approaches to conflict management and brokering between groups. *Conservation research, policy and practice*, 230-240.
- Zoffoun O. G., Nobimè G., Adjahossou S., Djego G., 2019. Déprédation des cultures par le singe à ventre rouge (*Cercopithecus erythrogaster erythrogaster*) à Togbota au Sud-Bénin. *African Primates*, 13: 9-28,



## Analyse scientométrique des publications parues entre 1982 et 2024 sur les effets socioéconomiques et environnementaux des réservoirs d'eau en lien avec la résilience des agro-éleveurs en Afrique de l'Ouest.

Adétoundé Jean-Claude HOUNTON<sup>1\*</sup>, Ibidon Firmin AKPO<sup>1a</sup>, Afouda Jacob YABI<sup>1b</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire d'Analyse et de Recherche sur les Dynamiques Economiques et Sociales (LARDES) / Faculté d'Agronomie / Université de Parakou (UP), Bénin

### RESUME

Cet article examine la gestion des ressources en eau essentielle au renforcement de la résilience des agro-pasteurs d'Afrique de l'Ouest face aux défis climatiques et socio-économiques. Grâce à une analyse scientométrique des publications parues entre 1982 et 2024 réalisée à l'aide des outils VOSviewer, R-bibliometrix et la base de données d'accès central pour les évaluations d'impact, l'étude identifie quatre thèmes clés : la résilience des agro-éleveurs, l'impact climatique sur l'agriculture et la pêche, et la perception des moyens de subsistance. Les publications se concentrent principalement sur l'impact climatique sur la production aquatique et la résilience agro-pastorale, avec des analyses secondaires sur le changement climatique, l'agriculture et les aspects socio-économiques. Les résultats de l'analyse montrent que le Ghana (25 %) et le Nigéria (20,45 %) dominent les contributions régionales. Dans cette région du monde, les réservoirs d'eau améliorent l'accès à l'eau et diversifient les revenus, mais posent des défis tels que les migrations forcées et une vulnérabilité accrue aux chocs climatiques. Sur le plan environnemental, ces réservoirs favorisent des pratiques agricoles durables, bien qu'ils risquent de dégrader les écosystèmes aquatiques. Sur le plan économique, ils génèrent des revenus mais entraînent des coûts de gestion élevés. Le texte souligne le manque de recherche sur les stratégies d'adaptation efficaces et recommande aux décideurs politiques d'utiliser ces résultats pour élaborer des mesures de soutien aux agro-éleveurs confrontés au changement climatique en Afrique de l'Ouest.

**Mots-clés :** Réservoir d'eau, changement climatique, écosystèmes aquatiques, résilience.

Corresponding author: Adétoundé Jean-Claude HOUNTON,

Received in April 2025 and accepted in August 2025

E-mail address: [jeanclaudehounton@yahoo.fr](mailto:jeanclaudehounton@yahoo.fr)

### 1. Introduction

Dans les régions où l'agriculture et l'élevage prédominent, la gestion rigoureuse des ressources en eau apparaît comme un levier essentiel pour renforcer la résilience des communautés agro-pastorales face aux aléas climatiques et aux défis socio-économiques (Lanshima, 2020). Dans un contexte de changement climatique accentué, le défi consiste à harmoniser les besoins en eau pour l'agriculture et l'élevage avec la rareté croissante des ressources hydriques (Abbas & Amanabo, 2021). Les agro-pasteurs dépendent notamment des réservoirs d'eau pour maîtriser les périodes de sécheresse prolongée, alors que la variabilité des précipitations, la concurrence pour l'eau, la dégradation des ressources et l'insuffisance des infrastructures fragilisent leurs systèmes de production (Oluwemimo & Damilola, 2013; Nkonya et al., 2014; Derkyi et al., 2016 ; Nyadzi, 2016).

Plusieurs études ont ainsi exploré divers aspects de la gestion de l'eau et leurs conséquences socio-économiques (Alua et al., 2020; Oghenero et al., 2021; Mustapha & Manu, 2022; Constant & Adaman, 2023) sur la production halieutique et l'élevage en sédentarisation. D'autres aspects incluaient les infrastructures hydrauliques telles que barrages, réservoirs de récolte d'eau de pluie et puits peu profonds, ainsi que les stratégies

d'adaptation mises en œuvre par les communautés (Nkonya et al., 2014; Amian et al., 2017; Charles et al., 2018; Mensah et al., 2018; Oyetola et al., 2022). Toutefois, malgré ces apports, subsistent des lacunes concernant l'efficacité des stratégies d'adaptation et une compréhension globale des retombées socio-économiques et environnementales sur les agro-pasteurs. La présente étude a pour objectif d'analyser ces impacts en vue d'identifier les dynamiques, les apports et les limites des approches existantes. Parmi les facteurs clés pour une gestion durable et efficace des ressources en eau, on compte la participation communautaire et la mise en place de comités de gestion, la communication et le partage des informations, le financement adéquat et le renforcement des capacités techniques, l'utilisation des savoirs autochtones, l'adoption de pratiques agricoles résilientes, ainsi que la diversification des sources d'eau et de revenus – sans oublier l'amélioration de l'accès au crédit et à l'éducation (Go et al., 2022; Hinneh et al., 2022; Mustapha & Manu, 2022; Constant & Adaman, 2023). Une approche intégrée combinant planification rigoureuse, adaptation aux conditions climatiques et implication des communautés locales s'impose pour assurer un équilibre entre besoins énergétiques,

agricoles et environnementaux. L'équilibre entre les besoins énergétiques, agricoles et environnementaux est indispensable pour assurer une gestion durable et résiliente des ressources en eau (Sall et al., 2020). Cette démarche soutient l'idée que l'adaptation réussie repose sur des institutions légitimes et un capital social fort, essentiels pour la protection des ressources collectives (Snorek et al., 2014; Araya et al., 2024).

Ainsi, cette revue se structure autour des questions suivantes :

- Quelle est l'importance de la recherche sur la résilience des agro-éleveurs face aux aléas climatiques?
- Quels sont les effets socio-économiques et environnementaux de la valorisation des réservoirs d'eau sur ces communautés?
- Comment la gestion des réservoirs d'eau contribue-t-elle à renforcer leur résilience?
- Quelles lacunes subsistent quant à l'évaluation des impacts de la valorisation des réservoirs d'eau?

En abordant ces questions, cette revue vise à structurer les connaissances existantes, dégager les tendances dominantes et identifier les angles morts de la recherche sur les réservoirs d'eau et la résilience des agro-éleveurs en Afrique de l'Ouest.

Pour répondre à ces interrogations, une démarche méthodologique rigoureuse a été adoptée afin d'identifier, de sélectionner et d'analyser de manière systématique les publications scientifiques pertinentes. La section suivante présente le protocole suivi pour la constitution du corpus, les critères d'inclusion, ainsi que les outils mobilisés pour l'analyse scientométrique.

## 2. Matériel et méthodes

L'approche méthodologique utilisée repose sur une recherche documentaire systématique, incluant la définition des critères de sélection, l'identification des sources pertinentes et l'analyse scientométrique des publications retenues.

### 2.1. Collecte des données

La revue systématique de la littérature constitue un outil fondamental pour identifier des articles de recherche pertinents sur un sujet défini (Page et al., 2021). L'objectif visé ici était d'explorer l'impact de la valorisation et de la gestion des réservoirs d'eau sur la résilience des agro-éleveurs face aux aléas climatiques, tout en mettant en lumière les lacunes en termes d'effets socio-économiques et environnementaux.

Pour ce faire, une démarche méthodologique rigoureuse a été adoptée (Xu et al., 2022). Les bases de données Scopus, Dimensions et Google Scholar ont été explorées en raison de leur couverture étendue de la littérature scientifique, incluant articles, revues, ouvrages et rapports de conférences (Caviggioli & Ughetto, 2019). L'approche booléenne basée sur le modèle « Population, Outcome and Setting (POS) » a été utilisée

pour cibler précisément les études pertinentes (Petrokofsky et al., 2015). La requête de recherche, réalisée le 16 mai 2024, combinait des termes relatifs aux agro-pasteurs, aux infrastructures hydrauliques et aux impacts socio-économiques et environnementaux, en intégrant des critères géographiques pour l'Afrique de l'Ouest. Les documents retenus ont ensuite fait l'objet d'un traitement bibliométrique approfondi afin de dégager les principales tendances de publication, les acteurs scientifiques impliqués et les dynamiques géographiques liées aux effets des réservoirs d'eau sur la résilience des agro-éleveurs.

### 2.2. Analyse des données

#### 2.2.1. Dynamique d'évolution des publications et des pays

Un total de 1584 documents a été collecté et exporté aux formats RIS et CSV, puis analysé avec le logiciel R (version 4.3.0) en utilisant le package Bibliometrix. L'analyse bibliométrique réalisée *via* l'interface Biblioshiny (Aria & Cuccurullo, 2017) a permis d'éliminer les doublons et d'examiner les tendances de publication entre 1982 et 2024. Cette méthode systématique et objective facilite l'identification, l'évaluation et l'interprétation des études pertinentes sur une question de recherche spécifique (De Sousa et al., 2024) (Figure 2). L'analyse factorielle des titres a été conduite avec VOSviewer (Figure 3), tandis que les contributions par pays ont été quantifiées avec R 4.3.0 et cartographiées à l'aide de ArcGIS 10.8 (Figure 4).

#### 2.2.2. Critères d'inclusion et d'exclusion des documents dans CADIMA

Les données bibliométriques ont ensuite été importées dans l'outil CADIMA ([www.cadima.info](http://www.cadima.info)) au format RIS (Kohl et al., 2018) pour appliquer un protocole rigoureux de sélection des études, conformément aux « Reporting Standards for Systematic Evidence Syntheses » (Figure 1). Après élimination des doublons, 1113 documents ont été soumis à une première évaluation sur la base de titres et résumés, en appliquant des critères d'inclusion (type de document, qualité, langue, région d'étude et thématique) qui ont conduit à l'exclusion de 972 documents. Sur les 140 documents restants, une lecture intégrale a permis de retenir 43 études présentant des données empiriques originales, une méthodologie détaillée et des résultats substantiels sur l'impact des réservoirs d'eau sur la résilience des agro-pasteurs (Garcia-Yi et al., 2014). Ces critères d'inclusion et d'exclusion ont été appliqués pour valider davantage les publications pertinentes (Cui & Wang, 2023). Ces documents ont été analysés pour extraire les objectifs de recherche, les types d'études, les recommandations pour de futures recherches et les limites des travaux existants. Le processus de sélection des études et les résultats à chaque étape est représenté par le diagramme des flux détaillant le parcours des documents depuis leur identification initiale jusqu'à leur inclusion finale dans l'analyse (Figure 1).

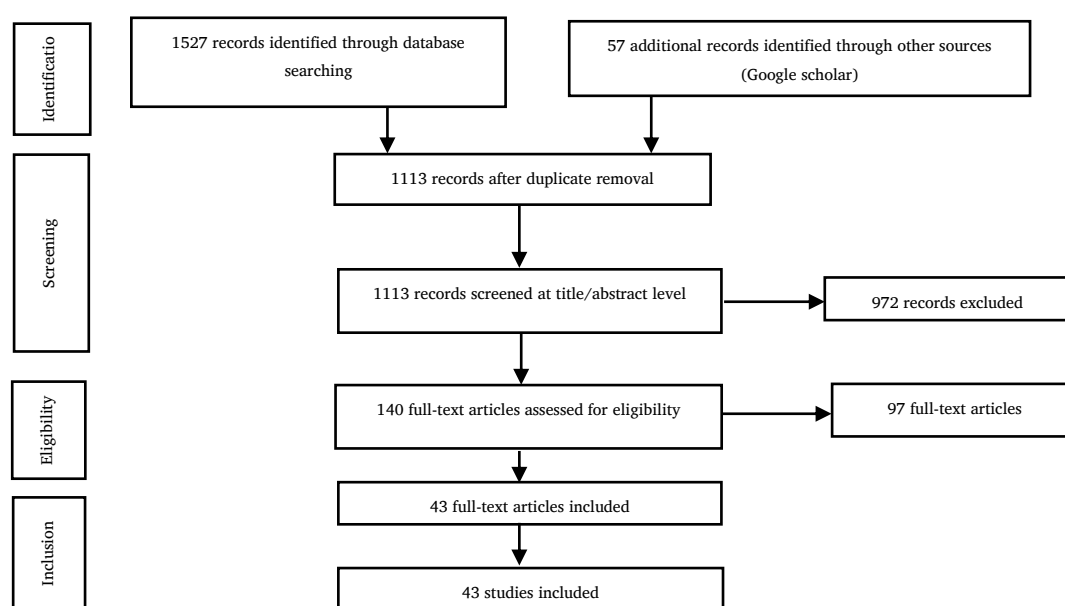


Figure 1: Diagramme de flux illustrant le processus de sélection des 43 études incluses dans la revue systématique

### 3. Résultats

#### 3.1 Importance de la recherche sur la résilience des agro-éleveurs face aux aléas climatiques

##### 3.1.1 Variations annuelles des publications de 1982 à 2023

L'analyse des 1584 articles téléchargés révèle un taux de croissance annuel d'environ 5,95 % dans les publications traitant de l'impact socio-économique et environnemental des réservoirs d'eau sur la résilience des agro-pasteurs. Pour analyser ces résultats, une décomposition en deux phases distinctes de recherche (1982-2003 et 2004-2024) a été entreprise, avec une évaluation des tendances de publications pour chaque période. La période 1982–2003 se caractérise par une activité modeste, tandis que la période 2004–2023 montre une augmentation nette et continue, le pic étant atteint en 2021 (Figure 2). Au-delà de la dynamique temporelle des publications, il importe d'en analyser les structures thématiques sous-jacentes pour mieux cerner les orientations de la recherche.

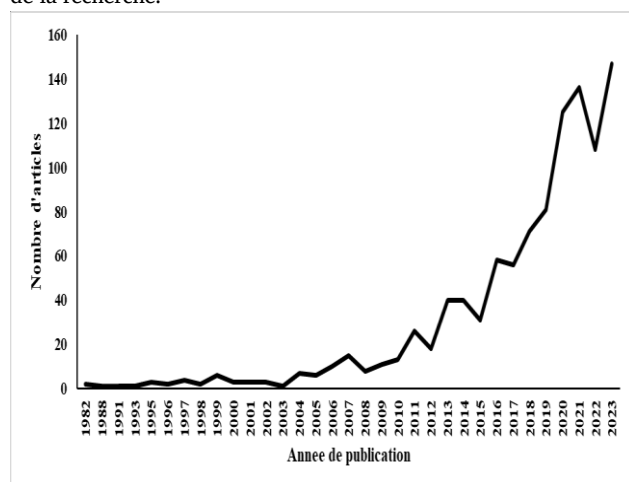


Figure 2: Variations annuelles des publications de 1982 à 2023 obtenues à partir des données extraites de l'outil CADIMA

##### 3.1.2. Analyse factorielle des publications

L'analyse factorielle (Figure 3, Tableau 1) distingue quatre clusters principaux :

- Cluster 1 : regroupant des termes tels que « agro pastoral dam », « case study », « climate variability », « farmers » et « northern Ghana ». Ce cluster se concentre sur l'adaptation des agro-pasteurs aux variations climatiques et sur l'impact de l'infrastructure de rétention d'eau dans un contexte de variabilité climatique.
- Cluster 2 : Composé de « agricultural activity » et « climate change » ; ce groupe met en exergue les interactions entre activités agricoles et changement climatique en soulignant l'importance d'étudier ces liens pour comprendre les défis actuels.
- Cluster 3 : Il associe « change » et « fish production », illustrant l'impact des changements environnementaux sur la production halieutique et l'intégration de l'aquaculture dans les systèmes agro-pastoraux.
- Cluster 4 : Ce cluster qui inclut « livelihood » et « perception », explore comment les moyens de subsistance et les perceptions de sécurité alimentaire et de risque influencent les stratégies d'adaptation des communautés.

L'analyse des titres des publications vient enrichir cette lecture factorielle en précisant les orientations spécifiques des recherches menées.



Figure 3 : Analyse factorielle des thématiques des publications réalisée dans VOSviewer.

Tableau 1. Clustering des titres des publications (*méthode binomiale*)

| Cluster             | Items                                                                       |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Cluster 1 (5 items) | Agro pastoral dam, case study, climate variability, farmers, northern Ghana |
| Cluster 2 (2 items) | Agricultural activity, climate change                                       |
| Cluster 3 (2 items) | Change, fish production                                                     |
| Cluster 4 (2 items) | Livelihood, perception                                                      |

### 3.1.3. Analyse des titres des publications

L'analyse des titres (Tableau 2) met en relief des expressions telles que « Cage aquaculture » et « Fish production » qui, bien que peu fréquentes, revêtent une grande pertinence dans le cadre des études sur la gestion des réservoirs en rapport avec la production halieutique. L'expression « Agro pastoral dam » apparaît fréquemment (3 occurrences ; 1,54 de pertinence) et illustre le rôle des infrastructures de rétention d'eau. Par ailleurs, les termes « Climate change » et « Agricultural activity » apparaissent de manière régulière, appuyant ainsi l'idée d'une interaction entre changement climatique et activités agricoles. D'autres termes moins centraux, tels que « Change, Livelihood, Climate variability, West Africa, Perception, Farmers, Case study, Economic analysis, Evidence » et « Food security contribution » renforcent l'approche multidisciplinaire des études en intégrant des analyses économiques, sociologiques et environnementales. Une analyse par pays documente mieux ces aspects.

Tableau 2. Analyse des titres des publications

| Term                       | Occurrences | Relevance |
|----------------------------|-------------|-----------|
| Economic analysis          | 2           | 0.73      |
| Evidence                   | 2           | 0.73      |
| Food security contribution | 3           | 0.88      |
| Northern Burkina Faso      | 3           | 0.93      |
| Case study                 | 3           | 0.93      |
| Farmers                    | 2           | 0.95      |
| Perception                 | 3           | 0.97      |
| West Africa                | 2           | 1.66      |
| Climate variability        | 2           | 1.67      |
| Fish production            | 3           | 0.58      |
| Cage aquaculture           | 3           | 0.58      |
| Case                       | 3           | 1.14      |
| Farm pond                  | 3           | 1.17      |
| Livelihood                 | 2           | 1.43      |
| Change                     | 2           | 1.43      |
| Agricultural activity      | 3           | 1.54      |
| Climate change             | 2           | 0.73      |
| Agro pastoral dam          | 2           | 0.73      |

### 3.1.4. Analyse des contributions par pays en termes de publications scientifiques

La cartographie des contributions (Figure 4) révèle une nette prédominance des recherches menées au Ghana (25 %) et au Nigeria (20,45 %), suivis par le Burkina Faso (15,91 %) et le Bénin (11,36 %). La Côte d'Ivoire et le Niger affichent des contributions de 6,82 % chacun, tandis que le Mali et le Sénégal (4,55 % chacun) ainsi que le Liberia et la Guinée (2,27 % chacun) présentent des productions plus cotées. Ces disparités témoignent d'un réseau de recherche inégal en Afrique de l'Ouest, influencé par la présence d'institutions de recherche, le financement international et l'importance stratégique des questions liées à la gestion de l'eau et à la résilience climatique dans ces pays.

Les effets observés sur les communautés des agro-éleveurs permettent de mieux cerner les implications socio-économiques et environnementales de la valorisation des réservoirs d'eau.

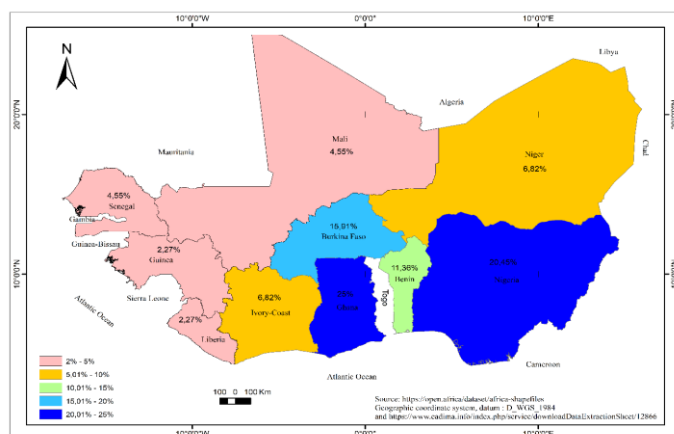


Figure 4 : Contributions par pays en termes de publications scientifiques en Afrique de l'Ouest réalisée dans ArcGIS 10.8

### 3.2. Conséquences socio-économiques et environnementales de la valorisation des réservoirs d'eau sur les agro-éleveurs

#### 3.2.1. Influences socio-économiques et environnementales

Sur le plan social, l'accès stable à l'eau grâce aux infrastructures agro-pastorales renforce la cohésion sociale et aide à prévenir les conflits liés à la gestion des ressources (Ostrom, 1990; Agarwal, 2001; Snorek et al., 2014; Weesie, 2019). Diouf et al. (2014) avaient montré que l'amélioration de la qualité de l'eau a des retombées positives sur la santé publique, réduisant ainsi les tensions sociales. Aussi, Bambara (2021) constate-t-il que l'accès facilité à l'eau limite l'exode rural en permettant aux jeunes de s'engager dans des activités productives telles que l'agriculture irriguée et le maraîchage. Inversement, l'insuffisance de l'accès à l'eau, due à des distances trop importantes, impacte négativement la santé et le bien-être des communautés (Derkyi et al., 2016).

Sur le plan économique, les études démontrent que les réservoirs d'eau améliorent la productivité agricole et contribuent à la réduction de la pauvreté (Derkyi et al., 2016; Sall et al., 2020; Adeleke et al., 2021; Sanon et al., 2021; Zongo et al., 2022). L'exploitation de ces infrastructures permet de diversifier les activités agricoles, d'améliorer la sécurité alimentaire et de générer des emplois locaux. Toutefois, certains auteurs tels que Poussin et al. (2015) et Weesie (2019) rappellent que les coûts élevés des infrastructures et des intrants peuvent limiter les bénéfices pour les petits exploitants (Oluwemimo & Damilola 2013) et influencer leur accessibilité pour les agriculteurs individuels (Araya et al., 2024). Par ailleurs, Shah (2010) souligne que les initiatives d'irrigation peuvent être détournées par des élites locales, accentuant les inégalités entre agriculteurs riches et petits exploitants.

Sur le plan environnemental, la gestion adéquate des réservoirs d'eau contribue à la conservation de la biodiversité et à la protection des écosystèmes aquatiques (Nyadzi, 2016; Derkyi, 2018; Sanon et al. 2020). Les techniques de conservation des sols associées à l'irrigation

améliorent la qualité des sols et favorisent des pratiques agricoles durables. Toutefois, certains projets hydrauliques ont également été associés à la déforestation, à la dégradation des terres et à la pollution des eaux (Lanshima, 2020; Abbas & Amanabo, 2021). En outre, Oghenero et al. (2021) alertent sur les risques liés à l'aquaculture, tels que la diminution de la biodiversité, en raison notamment de la mauvaise gestion des effluents et de l'introduction d'espèces non indigènes (Asiedu et al., 2017; Kassam & Dorward, 2017). Ces effets combinés sur les plans social, économique et environnemental posent les bases d'une résilience renforcée des agro-éleveurs, qu'il convient désormais d'examiner plus en détail.

### 3.3. Impacts de la gestion des réservoirs d'eau sur la résilience des agro-éleveurs

#### 3.3.1. Renforcement de la résilience

Les réservoirs d'eau jouent un rôle crucial en fournissant une source stable durant les périodes de sécheresse, favorisant ainsi l'adoption de pratiques agricoles durables et diversifiées (Montcho et al., 2021). L'accès aux infrastructures hydrauliques permet également aux communautés d'accéder à des informations climatiques et à des services de soutien ; ce qui facilite ainsi l'adaptation aux changements climatiques (Go et al., 2022). La diversification des cultures et l'intensification de certaines activités de subsistance, comme le petit commerce, renforcent la résilience des agro-pasteurs (Alua et al., 2020; Ju, 2020; Atubiga et al., 2023). Dans le domaine de l'aquaculture, les étangs polyvalents permettent aux pisciculteurs de diversifier leur production, optimisant ainsi la productivité dans un même plan d'eau (Hinneh et al., 2022).

D'autres facteurs, tels que le renforcement des capacités locales et l'adoption de pratiques durables autour des réservoirs d'eau, participent également à la diversification des moyens de subsistance (Abbas & Amanabo, 2021). Certaines communautés riveraines, en développant des stratégies de protection de leurs intérêts, montrent une capacité d'adaptation intégrée (Balogoun & Drissou, 2021; Constant & Adaman, 2023). Cette dynamique de renforcement de la résilience s'illustre aussi par la diversification des revenus et le renforcement de la sécurité alimentaire.

#### 3.3.2. Diversification des revenus et sécurité alimentaire

L'accès aux réservoirs permet aux agro-pasteurs de diversifier leurs sources de revenus en intégrant l'agriculture et la pisciculture (Abbas & Amanabo, 2021; Oghenero et al., 2021). Les agriculteurs élargissent leurs exploitations et développent des activités complémentaires pour contrer la variabilité climatique (Alua et al., 2020). Par ailleurs, la pisciculture à petite échelle est utilisée comme stratégie pour renforcer la sécurité alimentaire (Oyetola et al., 2022). L'irrigation facilitée par les réservoirs d'eau assure également une production agricole stable et continue, même en période de sécheresse, contribuant ainsi à la sécurité alimentaire et à l'amélioration des revenus (Weesie, 2019). Ces améliorations dépendent étroitement de pratiques agricoles adaptées et d'une gestion efficace des ressources en eau.

### 3.3.3. Pratiques agricoles résilientes et gestion de l'eau

L'utilisation judicieuse des ressources en eau, notamment par l'exploitation des eaux souterraines et la pratique de la transhumance, constitue une réponse stratégique face aux pénuries (Charles et al., 2018). La diversification des cultures, soutenue par une gestion intégrée des terres et de l'eau, permet d'améliorer la productivité et la résilience économique (Nkonya et al., 2014; Amian et al., 2017). L'irrigation d'appoint, facilitée par les réservoirs, atténue les effets des sécheresses prolongées en stabilisant la production agricole (Nyadzi, 2016; Zongo et al., 2022). Cependant, comme le souligne Postel (2014), une gestion inadéquate peut conduire à une surexploitation des ressources hydriques, d'où l'importance d'une approche intégrée et participative.

Par ailleurs, les infrastructures telles que les étangs et les systèmes d'irrigation permettent de réduire les vulnérabilités environnementales et économiques, en assurant une gestion plus stable des ressources (Pelebe et al., 2019; Abdoulaye et al., 2020).

Ces observations conduisent à interroger de manière critique les résultats obtenus.

## 4. Discussion

Cette section met en perspective les résultats obtenus à la lumière des connaissances existantes, afin d'en dégager les principales tendances, implications et limites.

### 4.1. Analyse des variations annuelles des publications

L'analyse révèle deux périodes distinctes. 1982-2003, marquée par une faible production scientifique due à une prise de conscience limitée et un manque de cadres contraignants. (Mperekumana et al., 2024). La période 2004-2023 est caractérisée par une intensification des recherches suite aux conférences internationales comme la COP21 et la COP26, et l'adoption de l'Accord de Paris (Rojas-Downing et al., 2017). Les investissements publics et les conventions internationales ont stimulé la recherche, confirmant l'importance des politiques internationales sur le renforcement de l'adaptation au changement climatique (Hulme, 2015). L'analyse des clusters et des thématiques permet de mieux cerner les orientations de la recherche.

### 4.2. Analyse des clusters et des thématiques dominantes

Les clusters identifiés offrent une lecture synthétique des thématiques dominantes.

Le Cluster 1 illustre l'adaptation des agro-pasteurs aux variations climatiques, notamment via des infrastructures comme les barrages au nord du Ghana (Weesie, 2019). Le Cluster 2 quant à lui, souligne l'interconnexion entre agriculture et changement climatique, étudiant les impacts réciproques pour développer des stratégies d'adaptation à long terme en vue d'assurer la sécurité alimentaire (Lungarska et al., 2020). Le Cluster 3 examine les impacts climatiques sur l'aquaculture et l'adaptation des communautés dépendantes des pêches par la diversification des activités (Barange et al., 2014). Et enfin, le Cluster 4 analyse comment la perception des risques climatiques influence les stratégies d'adaptation des communautés, en mettant l'accent sur la diversification des moyens de subsistance et les ajustements dans les

pratiques agricoles (Bunting et al., 2013). La répartition de ces thématiques reflète des dynamiques nationales hétérogènes, marquées par des écarts dans l'investissement scientifique et institutionnel.

### 4.3. Disparités dans les contributions scientifiques

La prédominance du Ghana et du Nigeria dans la production scientifique sur la résilience climatique des agro-pasteurs confirme l'importance accordée à ce sujet dans leurs politiques agricoles (Tambo, 2016; Nyantakyi-Frimpong, 2020). Le Burkina Faso, avec une contribution notable, s'inscrit dans une logique de recherche axée sur l'adaptation dans les zones sahéliennes (Barbier et al., 2009; Zampaligré et al., 2013). Le Bénin, la Côte d'Ivoire et le Niger montrent un intérêt croissant pour la gestion durable de l'eau (Sidikou, 1997; Yegbemey et al., 2013; Koffi et al. 2017). Les faibles contributions du Liberia et de la Guinée s'expliquent par des contextes post-conflit (Boyce et al., 2015; Gil et al., 2017).

Ces disparités s'expliquent par des différences de capacités institutionnelles, de financement et de priorités politiques (Ouédraogo et al., 2017; Diallo et al., 2020). Gertler et al. (2016) notent une déconnexion entre publications académiques et impact réel tandis que Zougmore et al. (2016) préconisent le renforcement des réseaux de recherche régionaux pour une meilleure adaptation des solutions aux contextes locaux.

Cette analyse révèle les disparités dans les contributions scientifiques entre les pays d'Afrique de l'Ouest en illustrant les capacités et priorités distinctes de chaque nation en matière de recherche. Les pays avec une production scientifique plus élevée montrent une expertise mieux établie, notamment dans la gestion des ressources hydriques. En revanche, les contributions plus modestes signalent des débuts ou des défis dans ces domaines. Une approche intégrée, axée sur la résilience des agro-pasteurs, pourrait harmoniser les efforts et partager les connaissances de manière plus équitable. Au-delà de ces disparités nationales, l'analyse des effets des réservoirs met en lumière des retombées multisectorielles, à la fois sociales, économiques et environnementales.

### 4.4. Réflexions sur les retombées socio-économiques et environnementales

Les infrastructures hydrauliques renforcent le tissu social, réduisent les conflits et améliorent la durabilité des ressources communes (Ostrom, 1990; Agarwal, 2001 ; Snorek et al., 2014). Ces ouvrages impactent positivement les communautés en améliorant l'accès à l'eau (Allan, 2002; Abdoulaye et al., 2020) avec des effets bénéfiques sur la santé publique et la réduction des tensions sociales (Diouf et al., 2014). Ces aspects sont soutenus par les travaux de C2A (2024) qui estiment que les pratiques agroécologiques améliorent la sécurité alimentaire et créent des opportunités de travail. Cependant, Bakker (2013) note que ces infrastructures peuvent aussi créer des inégalités d'accès.

Économiquement, ces infrastructures contribuent à une production agricole stable même en période de sécheresse (Abdoulaye et al., 2020) et l'adoption de pratiques agroécologiques peut aussi augmenter les revenus des agro-éleveurs (C2A, 2024).

Sur le plan environnemental, les infrastructures bien gérées favorisent la biodiversité et la durabilité agricole, mais des projets mal planifiés peuvent entraîner déforestation et pollution (Levard & Bertrand, 2018; Lanshima, 2020; Abbas & Amanabo, 2021). Au regard de ces effets multisectoriels, il convient désormais d'examiner plus spécifiquement le rôle des réservoirs d'eau dans le renforcement de la résilience des agro-éleveurs face aux aléas climatiques.

#### 4.5. Impacts des réservoirs d'eau sur l'amélioration de la résilience

Les infrastructures hydrauliques constituent une source d'eau stable durant les sécheresses (Montcho et al., 2021; Veyssset & Boivent, 2024) et favorisent l'adoption de pratiques agricoles durables (Go et al., 2022). Dans ces conditions, la gouvernance de l'eau est essentielle pour renforcer la résilience agricole (Kjellén & White, 2020) et la capacité de stockage des eaux est un enjeu majeur dans plusieurs régions face aux pénuries hydriques (UNESCO, 2021). Les réservoirs favorisent la diversification des cultures (Atubiga et al., 2023), mais peuvent générer des conflits entre agriculteurs et éleveurs (Lanshima, 2020; UNESCO, 2021).

Dans l'aquaculture, la diversification des espèces optimise la productivité et renforce la sécurité alimentaire (Hinne et al., 2022). Cet aspect est renforcé par les travaux de UNESCO (2021) qui rappellent que l'adoption de pratiques aquacoles adaptées est nécessaire pour réduire la dépendance aux ressources hydriques traditionnelles.

Par ailleurs, la résilience dépend aussi du renforcement des capacités locales et de l'adoption de pratiques durables autour des réservoirs d'eau (Abbas & Amanabo, 2021) et du développement des mécanismes d'adaptation autonomes pour sécuriser leurs moyens de subsistance (Balogoun & Drissou, 2021; Constant & Adaman, 2023). Cette idée est soutenue par Foucher et al. (2024) qui mettent en avant le rôle de la préservation des écosystèmes dans la sécurisation des ressources en eau et la prévention des effets néfastes du changement climatique. Outre leur rôle dans la résilience hydrique, les réservoirs participent aussi à la diversification des moyens de subsistance et au renforcement de la sécurité alimentaire.

#### 4.6. Réflexion sur la diversification des revenus et la sécurité alimentaire

La diversification des revenus grâce à l'accès aux réservoirs d'eau est une stratégie de résilience (Atidegla & Hounmenou, 2018; Abbas & Amanabo, 2021; Oghenero et al., 2021) contribuant à améliorer la sécurité alimentaire (C2A, 2024). Les agriculteurs augmentent leurs exploitations et diversifient leurs activités pour mieux gérer les risques hydroclimatiques (Ouassa et al., 2021).

L'utilisation de la pisciculture à petite échelle comme stratégie pour améliorer la sécurité alimentaire démontrée par Oyetola et al. (2022) est appuyée par les travaux de Kebede et al. (2022), qui ont montré que l'intégration de la pisciculture aux systèmes agricoles traditionnels permet non seulement d'améliorer la sécurité alimentaire des ménages, mais aussi de diversifier les sources de revenus et de renforcer la résilience face aux périodes de sécheresse.

Les travaux de Weesie (2019) sur l'amélioration de la disponibilité de l'eau pour l'irrigation et l'abreuvement du bétail grâce aux barrages

rejoignent les conclusions de Sidibé et al. (2023) stipulent que la gestion efficace des infrastructures hydrauliques agricoles en Afrique de l'Ouest favorise une production continue, même en période de sécheresse bien que le manque d'entretien et les coûts élevés restent problématiques. Certaines pratiques agricoles et méthodes de gestion de l'eau viennent appuyer et renforcer ces dynamiques de résilience.

#### 4.7. Analyse des impacts des pratiques agricoles résilientes et de la gestion de l'eau

L'utilisation des eaux souterraines et la transhumance sont des stratégies de gestion des pénuries d'eau (CAPC, 2014; Charles et al., 2018) nécessitant une approche supranationale pour éviter les tensions (OSS, 2024).

La diversification des cultures et les pratiques intégrées de gestion des terres et de l'eau améliorent la productivité et la résilience économique (Amian et al., 2017; Malézieux et al., 2022). De même, l'irrigation d'appoint à partir des réservoirs d'eau permet de faire face aux sécheresses et stabilise la production (Nkonya et al., 2014; Nyadzi, 2016; Zongo et al., 2022) bien que des lacunes subsistent dans la compréhension des ressources en eaux souterraines africaines (CAPC, 2014).

Pelebe et al. (2019) et Abdoulaye et al. (2020) ont démontré que les infrastructures telles que les étangs pour l'irrigation réduisent les vulnérabilités environnementales et économiques des communautés locales. Cette affirmation est renforcée par des études de Djamen Nana et al. (2013) et de Thiombiano et al. (2022) qui indiquent que la diversification des cultures dans le cadre de l'agriculture de conservation joue un rôle crucial dans l'amélioration de la sécurité alimentaire et des revenus agricoles, l'amélioration de l'offre fourragère et la gestion de la fertilité des sols. Cette analyse met également en évidence plusieurs domaines encore peu explorés, ouvrant la voie à de futures investigations.

### 5. Gaps de recherches

L'exploration des effets socio-économiques et environnementaux de l'exploitation des réserves d'eau pour renforcer la résilience des agro-éleveurs face au changement climatique met en évidence plusieurs gaps de recherche soulevés par les auteurs.

#### 5.1. Gestion des ressources en eau et adaptation au changement climatique

Il est essentiel de développer des solutions durables pour la coexistence entre agriculteurs et éleveurs et d'évaluer les impacts du changement climatique sur les ressources en eau transfrontalières (Lanshima, 2020; Abbas & Amanabo, 2021). En Côte d'Ivoire, une étude approfondie sur l'impact du réchauffement climatique sur les ressources en eau est nécessaire (Constant & Adaman, 2023) afin d'évaluer les variations de disponibilité en eau, leurs conséquences sur l'agriculture et l'élevage, et d'identifier des stratégies d'adaptation durables pour renforcer la résilience des communautés locales.

Nkonya et al. (2014) soulignent l'importance des contraintes financières, la conversion des pâturages et l'intégration des perceptions climatiques

dans les calendriers agricoles. Balogoun & Drissou (2021) et Zongo et al. (2022) appellent à évaluer les pratiques communautaires et l'irrigation innovante pour optimiser les revenus.

### 5.2. Valorisation des ressources hydriques et impacts socio-économiques

Les opportunités pour récompenser l'adoption de pratiques de gestion durable des terres et de l'eau ainsi que l'étude des perceptions des agriculteurs face à la variabilité climatique doivent être d'avantage explorées (Nkonya et al., 2014; Nyadzi, 2016). Les techniques de gestion de l'eau doivent être accessibles aux petits agriculteurs, et les communautés rurales doivent être renforcées pour s'adapter aux changements climatiques par des pratiques modernes de gestion de l'eau (Derkyi et al., 2016).

L'évaluation de l'efficacité des méthodes de gestion de l'eau utilisées par les pisciculteurs, la gestion des réservoirs d'eau au Nigeria, et les impacts à long terme des infrastructures hydrauliques sur les écosystèmes locaux et les dynamiques sociales sont également des priorités de recherche (Oluwemimo & Damilola, 2013; Sanon et al., 2020; Adeleke et al., 2021).

### 5.3. Gouvernance et régulation des ressources en eau

La collaboration entre divers acteurs pour résoudre la crise de l'eau et l'adoption de technologies améliorées de production maraîchère sont primordiales (Alua et al., 2020; Mustapha & Manu, 2022). L'impact des pratiques aquacoles sur la biodiversité et l'économie locale, ainsi que l'amélioration de l'accès à la terre par des législations sur les droits fonciers et des services de vulgarisation, nécessitent des recherches supplémentaires (Ju, 2020; Oghenero et al., 2021).

Les interventions gouvernementales doivent être intégrées dans la planification du développement local, garantissant la fourniture d'intrants, de services de vulgarisation et de subventions pour la pisciculture à petite échelle, tout en atténuant les impacts environnementaux négatifs (Oyetola et al., 2022). Il est également important de développer des mécanismes de résolution de conflits et des réglementations claires sur la pisciculture intensive (Amian et al., 2017; Charles et al., 2018; Mensah et al., 2018).

### 5.4. Résilience des communautés et gestion durable des ressources

La résilience des communautés face au changement climatique, la gestion inclusive des ressources communes et la réduction des adaptations divergentes nécessitent des cadres pour traiter les inégalités et marginalisations dans la gestion des ressources en eau (Snorek et al., 2014; Poussin et al., 2015; Kpéra et al., 2017). Il est essentiel d'évaluer l'impact des infrastructures hydrauliques à long terme, leur efficacité et leur adaptation aux conditions climatiques changeantes, tout en minimisant les inégalités d'accès aux ressources et les conflits fonciers (Pelebe et al., 2019; Abdoulaye et al., 2020; Bambara, 2021).

Des recherches sur les coûts environnementaux et les stratégies de gestion durable des retenues d'eau, ainsi que sur les dynamiques sociales associées, sont indispensables pour maximiser les bénéfices de ces infrastructures (Diouf et al., 2014; Djohy & Edja, 2018).

Aborder ces gaps de recherche contribuera à une gestion plus efficace et durable des réserves d'eau, renforçant ainsi la résilience des agro-éleveurs face aux défis climatiques en Afrique de l'Ouest.

## 6. Conclusion

Cette revue souligne l'importance de la gestion efficace des ressources en eau pour la résilience des communautés d'agro-éleveurs face aux défis climatiques. Les résultats montrent que plusieurs stratégies d'adaptation telles que le développement des infrastructures hydrauliques (barrages, retenues, étangs, réservoirs, etc.), la diversification des activités agricoles et halieutiques (maraîchage, pisciculture), l'adoption de pratiques agroécologiques comme l'irrigation d'appoint et la conservation des eaux et des sols, la gestion collective de l'eau pour prévenir les conflits, ainsi que le renforcement des capacités locales pour une meilleure appropriation des ressources, sont mobilisées. Ces stratégies, combinées, contribuent à améliorer la sécurité alimentaire, les revenus et la cohésion sociale des agro-éleveurs. Des recherches futures devraient se concentrer sur des approches intégrées et participatives, impliquant les agro-éleveurs dans la conception de solutions adaptées à leurs besoins spécifiques.

### Contribution

Cette étude résulte d'une collaboration de l'ensemble des auteurs. La conception et la définition du protocole de recherche ont été assurées par Adétoundé Jean-Claude HOUNTON, Ibidon Firmin AKPO et Jacob Afouda YABI. Adétoundé Jean-Claude HOUNTON a réalisé la revue de la littérature, l'extraction, le traitement et l'analyse des données, puis rédigé la première version du manuscrit. Ibidon Firmin AKPO et Jacob Afouda YABI ont procédé à la révision critique et à l'amélioration substantielle du texte. Tous les auteurs ont lu et approuvé la version finale du manuscrit et assument l'entière responsabilité de son contenu.

### Références bibliographiques

- Abbas, A. M., & Amanabo, U. H. (2021). Lake Chad : Fluctuating water level and its implications for people's livelihood in the Area. *The Dhaka University Journal of Earth and Environmental Sciences*, 9(2), 1-8. <https://doi.org/10.3329/dujees.v9i2.55084>.
- Abdoulaye, I. M., Ayena, M., Yabi, A. J., Dedehouanou, H., Biaou, G., & Houinato, M. (2020). Incidences socio-économiques et environnementales des infrastructures pastorales et agropastorales installées dans le Borgou au Nord-Est du Bénin. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(7), 3214-3233. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v13i7.20>.
- Adeleke, M. L., Al-Kenawy, D., Nasr-Allah, A. M., Dickson, M., & Ayal, D. (2021). Impacts of environmental change on fish production in Egypt and Nigeria : Technical characteristics and practice. In *African Handbook of Climate Change Adaptation* (p. 789-805). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-45106-6\\_153](https://doi.org/10.1007/978-3-030-45106-6_153).

- Agarwal, B. (2001). Participatory exclusions, community forestry, and gender: An analysis for South Asia and a conceptual framework. *World development*, 29(10), 1623-1648.
- Allan, J. A. (2002). *Water security in the middle east: The hydro-politics of global solutions*. Columbia University Press New York, NY. [https://www.files.ethz.ch/isn/6839/doc\\_6841\\_290\\_en.pdf](https://www.files.ethz.ch/isn/6839/doc_6841_290_en.pdf).
- Alua, M. A., Peprah, K., & Achana, G. T. W. (2020). Better safe than sorry: Local impacts of climate change on agricultural activities in North-East Ghana. *Ghana Journal of Geography*, 12(1), 47-73. <https://doi.org/10.4314/gig.v12i1.3>.
- Amian, A. F., Wandan, E. N., Blé, M. C., Vanga, A. F., & Kaudhjis, P. J. A. (2017). Etude des déterminants socioéconomiques et techniques de la pisciculture extensive en Côte d'Ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(6), 389. <https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n6p389>.
- Araya, M. J., Araya-Moreno, J., Coulibaly, Y. M., & Savadogo, T. B. (2024). Between 'the technical' and 'the Social'? The case of farm ponds for supplemental irrigation in Burkina Faso and Mali. *International Journal of Rural Management*. <https://doi.org/10.1177/09730052231221332>.
- Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.
- Asiedu, B., Adetola, J.-O., & Kissi, I. O. (2017). Aquaculture in troubled climate: Farmers' perception of climate change and their adaptation. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1), 1296400. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1296400>.
- Atidegla, S. C., & Hounmenou, C. (2018). Adaptation des producteurs à la variabilité climatique au sud- Bénin: Cas de la plaine inondable de Gbessou Houékèkomè. *Annales Des Sciences Agronomiques*, 22(1), Article 1.
- Atubiga, J. A., Atubiga, A. B., Nyade, L. T., & Donkor, E. (2023). Evaluating the perennial flooding on the white Volta river and the Bagre dam spillage on agricultural activities in the Sudan Savanna in the upper east region, Ghana. *International Journal of Multidisciplinary Research and Analysis*, 06(03). <https://doi.org/10.47191/ijmra/v6-i3-11>.
- Bakker, K. (2013). *Privatizing water: Governance failure and the world's urban water crisis*. Cornell University Press. [https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=CaGd0u0da4gC&oi=fnd&pg=PR6&dq=Governance+Failure+and+the+World%27s+Urban+Water+Crisis&ots=eu\\_ffil\\_6j&sig=FdkQLhTPi5wb44W4xwSSrqDyB7k](https://books.google.com/books?hl=fr&lr=&id=CaGd0u0da4gC&oi=fnd&pg=PR6&dq=Governance+Failure+and+the+World%27s+Urban+Water+Crisis&ots=eu_ffil_6j&sig=FdkQLhTPi5wb44W4xwSSrqDyB7k).
- Balogoun, S., & Drissou, L. (2021). External interventions and community innovativeness to cope with changes in ecosystem services of the Okpara dam in Northern Benin. *Asian Journal of Education and Social Studies*, 1-12. <https://doi.org/10.9734/ajess/2021/v24i130566>.
- Bambara, A. (2021). *Characterisation and modelling of groundwater in the vicinity of small irrigation surface water reservoirs in basement areas: Case of Kierma and Mogtédou (Burkina Faso)*. <https://core.ac.uk/display/478642602?source=4>.
- Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholtens, J., Harle, J., Allison, E. H., Allen, J. I., Holt, J., & Jennings, S. (2014). Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. *Nature climate change*, 4(3), 211-216.
- Barbier, B., Yacouba, H., Karambiri, H., Zoromé, M., & Somé, B. (2009). Human vulnerability to climate variability in the Sahel: Farmers' adaptation strategies in Northern Burkina Faso. *Environmental Management*, 43(5), 790-803. <https://doi.org/10.1007/s00267-008-9237-9>.
- Boyce, R., Rosch, R., Finlayson, A., Handuleh, D., Walhad, S. A., Whitwell, S., & Leather, A. (2015). Use of a bibliometric literature review to assess medical research capacity in post-conflict and developing countries: Somaliland 1991-2013. *Tropical Medicine & International Health*, 20(11), 1507-1515. <https://doi.org/10.1111/tmi.12590>.
- Bunting, E., Steele, J., Keys, E., Muyengwa, S., Child, B., & Southworth, J. (2013). Local perception of risk to livelihoods in the semi-arid landscape of Southern Africa. *Land*, 2(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/land2020225>.
- C2A. (2024, janvier). *Les effets socio-économiques de l'agroécologie*.
- CAPC. (2014). *Gestion des eaux souterraines en Afrique: Implications pour la réalisation des OMD, des objectifs de subsistance et l'adaptation au changement climatique*. Centre Africain pour la Politique en matière de Climat (CAPC).
- Caviggioli, F., & Ughetto, E. (2019). A bibliometric analysis of the research dealing with the impact of additive manufacturing on industry, business and society. *International journal of production economics*, 208, 254-268.
- Charles, L. S., Daniel, N. T., André, K., Julia, O. E., & Appollonia, A. O. (2018). Climate variability adaptation strategies: Challenges to livestock mobility in South-Eastern Burkina Faso. *Open Access Library Journal*, 05(02), 1-17. <https://doi.org/10.4236/oalib.1104372>.
- Constant, O. K., & Adaman, S. (2023). Climate change and sustainable management of agro-pastoral dams in the department of Ouangolo: From water scarcity to inter-community tensions. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 8(4), 022-029. <https://doi.org/10.22161/ijeab.84.3>.
- Cui, L., & Wang, W. (2023). Factors affecting the adoption of digital technology by farmers in China: A systematic literature review. *Sustainability*, 15(20), Article 20. <https://doi.org/10.3390/su152014824>.
- De Sousa, M. N. A., Almeida, E. P. D. O., & Bezerra, A. L. D. (2024). Bibliometrics: What is it? What is it used for? And how to do it? *Cuadernos de Educación y Desarrollo*, 16(2), e3042. <https://doi.org/10.55905/cuadv16n2-021>.

- Derkyi, M. (2018). Farm level tree planting in Ghana: Potential for reducing vulnerability and mitigating climate change. *Journal of Energy and Natural Resource Management*, 1(1), 19-28. <https://doi.org/10.26796/jenrm.v1i0.13>.
- Derkyi, M. A. A., Derkyi, N. S. A., & Baidoo, A. (2016). Farmers' perception of water contribution to household and farming system in the Offinso North District of Ghana: Rainfall a critical climatic factor. *Ghana Journal of Development Studies*, 13(2), 100-116. <https://doi.org/10.4314/gjds.v13i2.6>.
- Diallo, A., Donkor, E., & Owusu, V. (2020). Climate change adaptation strategies, productivity and sustainable food security in southern Mali. *Climatic Change*, 159(3), 309-327. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02684-8>.
- Diouf, B., LoO, H. M., Dieye, B., Sane, O., & Sarr, O. F. (2014). *Pour une agriculture intelligente face au changement climatique au Sénégal: Recueil de bonnes pratiques d'adaptation et d'atténuation*. <https://duddal.org/s/bibnum-promap/item/1179#?c=0&m=0&s=0&cv=0>.
- Djamen Nana, P., Girard, P., & Sidibé, A. (2013). *Fonctions, modalités et défis de la diversification culturelle dans la Boucle (...)—IED Afrique / Innovations Environnement Développement*. [https://www.iedafrique.org/Fonctions-modalites-et-defis-de-la.html?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.iedafrique.org/Fonctions-modalites-et-defis-de-la.html?utm_source=chatgpt.com).
- Djohy, G. L., & Edja, A. H. (2018). Effet de la variabilité climatique sur les ressources en eau et stratégies d'adaptation des éleveurs et maraîchers au Nord-Bénin. *Annales de l'Université de Parakou Série « Sciences Naturelles et Agronomie »*, 8(2), 83-91.
- Foucher, A., Evrard, O., Rabiet, L., Cerdan, O., Landemaine, V., Bizeul, R., Chalaux-Clerguel, T., Marescaux, J., Debortoli, N., Ambroise, V., & Desprats, J.-F. (2024). Uncontrolled deforestation and population growth threaten a tropical island's water and land resources in only 10 years. *Science Advances*, 10, 19.
- Gertler, P. J., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L. B., & Vermeersch, C. M. (2016). *Impact evaluation in practice*. World Bank Publications.
- Gil, J. D. B., Cohn, A. S., Duncan, J., Newton, P., & Vermeulen, S. (2017). The resilience of integrated agricultural systems to climate change. *WIREs Climate Change*, 8(4), e461. <https://doi.org/10.1002/wcc.461>.
- Go, A., Mn, I., Ju, C., & Jo, A. (2022). Climate change information needs of agro-pastoralists in Southeast Nigeria. *MOJ Ecology & Environmental Sciences*, 7(2), 48-51. <https://doi.org/10.15406/mojes.2022.07.00246>.
- Hinne, M. K.-Y., Liti, M. D., & Matolla, G. (2022). Characterization of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) farming intensities in Liberia. *Aquaculture Journal*, 2(3), 203-215. <https://doi.org/10.3390/aquacj2030011>.
- Hulme, M. (2015). Why we disagree about climate change. *Zygon*, 50(4). <https://www.zygonjournal.org/article/14280/galley/28937/download/>
- Ju, C. (2020). Women farmers use of indigenous knowledge in land and water management for climate change adaptation in flood-plain agricultural areas of Imo State, Nigeria. *Open Access Journal of Agricultural Research*, 5(2). <https://doi.org/10.23880/oajar-16000244>
- Kassam, L., & Dorward, A. (2017). A comparative assessment of the poverty impacts of pond and cage aquaculture in Ghana. *Aquaculture*, 470, 110-122. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.12.017>.
- kebede, D., Emanna, B., & Tesfay, G. (2022). Impact of land acquisition for large-scale agricultural investments on vulnerability of displaced households to climate change shocks in Ethiopia. *Ecosystems and People*, 18(1), 2143572. <https://doi.org/10.1080/26395916.2022.2143572>.
- Kjellén, M., & White, M. (2020). *Gouvernance de l'eau pour la résilience aux changements climatiques*. [https://www.sidalc.net/search/Record/dig-unesdoc-ark:-48223-pf0000373070\\_fre/Description](https://www.sidalc.net/search/Record/dig-unesdoc-ark:-48223-pf0000373070_fre/Description).
- Koffi, C. K., Djoudi, H., & Gautier, D. (2017). Landscape diversity and associated coping strategies during food shortage periods: Evidence from the Sudano-Sahelian region of Burkina Faso. *Regional Environmental Change*, 17(5), 1369-1380. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0945-z>.
- Kohl, C., McIntosh, E. J., Unger, S., Haddaway, N. R., Kecke, S., Schiemann, J., & Wilhelm, R. (2018). Online tools supporting the conduct and reporting of systematic reviews and systematic maps: A case study on CADIMA and review of existing tools. *Environmental Evidence*, 7(1), 8. <https://doi.org/10.1186/s13750-018-0115-5>.
- Kpéra, G. N., Segnon, A. C., Saïdou, A., Mensah, G. A., Aarts, N., & van der Zijpp, A. J. (2017). Towards sustainable vegetable production around agro-pastoral dams in Northern Benin: Current situation, challenges and research avenues for sustainable production and integrated dam management. *Agriculture & Food Security*, 6(1), 67. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0142-4>.
- Lanshima, C. A. (2020). Climate change induced conflict: The case of herdsmen and farmers in the middle belt of Nigeria. *Wilberforce Journal of the Social Sciences*, 1, 64-79. <https://doi.org/10.36108/wjss/0202.sp.0140>.
- levar, & Bertrand, M. (2018). *Agroécologie: Capitalisation d'expériences en Afrique de l'Ouest. Facteurs favorables et limitants au développement de pratiques agroécologiques évaluation des effets socio-économiques et agro-environnementaux*.
- Lungarska, A., Chakir, R., Ben Fradj, N., Jayet, P.-A., Bamière, L., Isbasoiu, A., Ollier, M., Gossiaux, E., Chiadmi, I., De Cara, S., & Salomé, K. (2020). *Approche intégrée des productions*

- animales et végétales dans un modèle économique pour l'analyse des interactions agriculture – environnement.
- Malézieux, E., Beillouin, D., & Makowski, D. (2022). Mieux nourrir la planète : Diversifier les cultures pour construire des systèmes alimentaires durables. *Perspective*, 58, 1-4. <https://doi.org/10.19182/perspective/36931>.
- Mensah, V. F., Annang, Y., & Ofori, B. D. (2018). Environmental and socioeconomic impact of cage aquaculture at Kpeve Tornu section of the Volta Lake, Ghana. *Bonorowo Wetlands*, 8(2), 84-95. <https://doi.org/10.13057/bonorowo/w080205>.
- Montcho, M., Padonou, E. A., Montcho, M., Mutua, M. N., & Sinsin, B. (2021). Perception and adaptation strategies of dairy farmers towards climate variability and change in West Africa. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-615302/v1>.
- Mperekumana, P., Shen, L., Zhong, S., Muhirwa, F., Gaballah, M. S., & Nsigayehe, J. M. V. (2024). Integrating climate change adaptation into water-energy-food-environment nexus for sustainable development in East African Community. *Journal of Cleaner Production*, 434, 140026.
- Mustapha, Y., & Manu, I. (2022). Farmers' attitude towards cooperative participation in irrigated vegetables production in Gombe State, Nigeria. *International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences*, 6(2), 233-239. <https://doi.org/10.31015/jaefs.2022.2.5>.
- Nkonya, E., Place, F., Kato, E., & Mwanjololo, M. (2014). Climate risk management through sustainable land management in Sub-Saharan Africa. In *Sustainable intensification to advance food security and enhance climate resilience in Africa* (p. 75-111). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-09360-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-09360-4_5).
- Nyadzi, E. (2016). Climate variability since 1970 and farmers' observations in Northern Ghana. *Sustainable Agriculture Research*, 5(2), 41. <https://doi.org/10.5539/sar.v5n2p41>.
- Nyantakyi-Frimpong, H. (2020). What lies beneath: Climate change, land expropriation, and zaï agroecological innovations by smallholder farmers in Northern Ghana. *Land Use Policy*, 92, 104469. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104469>.
- Oghenero, O., Nwachi, O., & Omorogie, V. (2021). Functionality of aquacultural techniques in Delta State, Nigeria: Adoption approaches. *Black Sea Journal of Agriculture*, 4(2), 47-51.
- Oluwemimo, O., & Damilola, A. (2013). Socio-economic and policy issues determining sustainable fish farming In Nigeria. *International Journal of Livestock Production*, 4(1), 1-8. <https://doi.org/10.5897/ijlp12.013>.
- OSS. (2024, mai). *Gestion concertée des eaux souterraines partagées en Afrique: Défis et opportunités*. [https://oss-online.org/sites/default/files/2024-09/OSS-GestionConcerteeEauxPartagees.pdf?utm\\_source=chatgpt.com](https://oss-online.org/sites/default/files/2024-09/OSS-GestionConcerteeEauxPartagees.pdf?utm_source=chatgpt.com).
- Ostrom, E. (1990). *Governing the Commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge University Press.
- Ouassa, P., Atchadé, G. A. A., Kodja, D. J., Avahounlin, F. R., & Vissin, E. W. (2021). Stratégies d'adaptation des producteurs agricoles aux risques hydroclimatiques dans le bassin Béninois de la pendjari à l'exutoire de Porga. *Proceedings of IAHS*, 384, 319-324. <https://doi.org/10.5194/piahs-384-319-2021>.
- Ouédraogo, M., Zougmore, R., Moussa, A. S., Partey, S. T., Thornton, P. K., Kristjanson, P., Ndour, N. Y. B., Somé, L., Naab, J., Boureima, M., Diakité, L., & Quiros, C. (2017). Markets and climate are driving rapid change in farming practices in Savannah West Africa. *Regional Environmental Change*, 17(2), 437-449. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1029-9>.
- Oyetola, I. A., Sennuga, S. O., Bako, H., & Wilberforce, A. G. (2022). Exploring the adoption of fish production using concrete tank in the municipal area council, Abuja. *South Asian Research Journal of Agriculture and Fisheries*, 4(2), 40-46. <https://doi.org/10.36346/sarjaf.2022.v04i02.004>.
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Pelebe, R. O. E., Ouattara, I. N., Attakpa, E. Y., Dimon Yai, B. W., Dassoundo-Assogba, J. C. F., Imorou Toko, I., & Montchowui, E. H. (2019). Caractérisation de l'état actuel et des modes d'exploitation des retenues d'eau au Bénin. *Annales de l'Université de Parakou - Série Sciences Naturelles et Agronomie*, 9(2), 1-14. <https://doi.org/10.56109/aup-sna.v9i2.50>.
- Petrokofsky, G., Sist, P., Blanc, L., Doucet, J.-L., Finegan, B., Gourlet-Fleury, S., Healey, J. R., Livoreil, B., Nasi, R., Peña-Claros, M., Putz, F. E., & Zhou, W. (2015). Comparative effectiveness of silvicultural interventions for increasing timber production and sustaining conservation values in natural tropical production forests. A systematic review protocol. *Environmental Evidence*, 4(1). Scopus. <https://doi.org/10.1186/s13750-015-0034-7>.
- Postel, S. (2014). *The last oasis: Facing water scarcity*. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315070346/last-oasis-sandra-postel>.
- Poussin, J.-C., Renaudin, L., Adogoba, D., Sanon, A., Tazen, F., Dogbe, W., Fusillier, J.-L., Barbier, B., & Cecchi, P. (2015). Performance of small reservoir irrigated schemes in the Upper Volta basin: Case studies in Burkina Faso and Ghana. *Water Resources and Rural Development*, 6, 50-65. <https://doi.org/10.1016/j.wrr.2015.05.001>.
- Rojas-Downing, M. M., Nejadhashemi, A. P., Harrigan, T., & Woznicki, S. A. (2017). Climate change and livestock: Impacts, adaptation, and mitigation. *Climate risk management*, 16, 145-163.

- Sall, M., Poussin, J.-C., Bossa, A. Y., Ndiaye, R., Cissé, M., Martin, D., Bader, J.-C., Sultan, B., & Ogilvie, A. (2020). Water Constraints and flood-recession agriculture in the Senegal river Valley. *Atmosphere*, 11(11), 1192. <https://doi.org/10.3390/atmos11111192>.
- Sanon, A., Gomgnimbou, A. P. K., Coulibaly, K., Traore, K., & Nacro, H. B. (2020). Déterminants de la fertilisation dans les systèmes de riziculture pluviale stricte dans les zones Nord et Sud Soudaniennes du Burkina Faso. *European Scientific Journal ESJ*, 16(27). <https://doi.org/10.19044/esj.2020.v16n27p38>.
- Sanon, V.-P., Ouedraogo, R., Toé, P., El Bilali, H., Lautsch, E., Vogel, S., & Melcher, A. H. (2021). Socio-economic perspectives of transition in inland fisheries and fish farming in a least developed country. *Sustainability*, 13(5), 2985. <https://doi.org/10.3390/su13052985>.
- Shah, T. (2010). *Taming the anarchy: Groundwater governance in South Asia*. Routledge. <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781936331598/taming-anarchy-tushaar-shah>.
- Sidibé, M. S., Traoré, S. D., Sissoko, D., Sangaré, M., Sissoko, P., Cissé, I., & Dembélé, Y. (2023). Some adaptation strategies of the population of the sahel to the effects of climate change: Case of the circle of Yelimane, Mali. *International Journal of Agriculture, Environment and BioResearch*, 08(03), 106-118. <https://doi.org/10.35410/ijaeb.2023.5832>.
- Sidikou, H. A. (1997). Droits d'usage traditionnel locaux et demande externe des populations urbaines au Niger. *D'HERBES J. M & al*, 1-1997.
- Snorek, J., Renaud, F. G., & Kloos, J. (2014). Divergent adaptation to climate variability: A case study of pastoral and agricultural societies in Niger. *Global Environmental Change*, 29, 371-386. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.06.014>.
- Tambo, J. A. (2016). Adaptation and resilience to climate change and variability in north-east Ghana. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 17, 85-94. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.04.005>.
- Thiombiano, L., Coulibaly, K., Boni, N., Mkomwa, S., Boa, K., Zougmore, R. B., Balarabe, O., Traoré, S., & Halimatu, S. (2022). *Conservation agriculture in West and Central Africa* [Book\_section]. Advances in Conservation Agriculture. Volume 3: Adoption and Spread; Burleigh Dodds Science Publishing. <https://doi.org/10.19103/AS.2021.0088.07>
- UNESCO. (2021). *Rapport mondial des Nations Unies sur la mise en valeur des ressources en eau 2021: La valeur de l'eau* (p. 12). UNESCO.
- Veyssset, P., & Boivent, C. (2024). Une évaluation de la résilience d'exploitations d'élevage face aux aléas climatiques: Application à des élevages de ruminants bio du massif central. *SFER-INRAE-CIRAD, Saclay, France*, 23.
- Weesie, R. (2019). Towards adaptive commons: A case study of agro-pastoral dams in Northern Ghana. *Sustainability*, 11(2), 319. <https://doi.org/10.3390/su11020319>.
- Xu, J., Gu, B., & Tian, G. (2022). Review of agricultural IoT technology. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 6, 10-22. <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2022.01.001>.
- Yegbeme, R. N., Yabi, J. A., Tovignan, S. D., Gantoli, G., & Kokoye, S. E. H. (2013). Farmers' decisions to adapt to climate change under various property rights: A case study of maize farming in northern Benin (West Africa). *Land Use Policy*, 34, 168-175. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.03.001>.
- Zampaligré, N., Dossa, L. H., & Schlecht, E. (2013). Climate change and variability: Perception and adaptation strategies of pastoralists and agro-pastoralists across different zones of Burkina Faso. *Regional Environmental Change*, 14(2), 769-783. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0532-5>.
- Zongo, B., Barbier, B., Diarra, A., Zorom, M., Atewamba, C., Combary, O. S., Ouédraogo, S., Toé, P., Hamma, Y., & Dogot, T. (2022). Economic analysis and food security contribution of supplemental irrigation and farm ponds: Evidence from northern Burkina Faso. *Agriculture & Food Security*, 11(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s40066-021-00347-0>.
- Zougmore, R., Partey, S., Ouédraogo, M., Omitoyin, B., Thomas, T., Ayantunde, A., Ericksen, P., Said, M., & Jalloh, A. (2016). Toward climate-smart agriculture in West Africa: A review of climate change impacts, adaptation strategies and policy developments for the livestock, fishery and crop production sectors. *Agriculture & Food Security*, 5(1), 26. <https://doi.org/10.1186/s40066-016-0075-3>.



National University of Agriculture

## Sciences and Technologies for Sustainable Agriculture (STSA)

ISSN: 1659-5726 (Online) 1659-634X (Print) <https://www.stsa.una.bj/index.php/st>

VOLUME 4 N° 1 (ORIGINAL ARTICLE)

## Genetic Improvement of Rice Aroma in Africa

Réel Gael Fael HOUNGBELAGNON<sup>\*</sup>, Koffi David MONTCHO HAMBADA<sup>1</sup>, Chimène Nadège Mahoussi NANOUKON<sup>2</sup>, Lambert Gustave DJEDATIN<sup>2</sup>, Clément AGBANGLA<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire des Sciences Végétales, Horticoles et Forestières, Université Nationale d'Agriculture (UNA), BP 43, Kétou, République du Bénin.

<sup>2</sup> Laboratoire de Biologie Moléculaire et de Bioinformatique Appliquée à la Génétique, École Nationale des Biosciences et Biotechnologies Appliquées, Université Nationale des Sciences, Technologies, Ingénierie et Mathématiques, Dassa-Zoumè, République du Bénin.

<sup>3</sup> Faculté des Sciences et Techniques, Université d'Abomey-Calavi, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

## RESUME

Le riz est une culture céréalière essentielle sur les plans alimentaire et économique. Parmi ses caractéristiques les plus valorisées, l'arôme joue un rôle clé en augmentant sa valeur marchande. Les riz aromatiques possèdent une odeur agréable et un goût apprécié par les consommateurs du monde entier, y compris en Afrique. Cependant, les programmes de sélection ciblant l'arôme restent peu développés en Afrique, et l'état des connaissances sur ce sujet demeure mal documenté. Le présent travail vise à faire le point sur les avancées et les défis liés à l'amélioration génétique de l'arôme du riz en Afrique, ainsi qu'à proposer des pistes pour renforcer les efforts de sélection. Il repose sur une analyse documentaire des travaux portant sur l'amélioration génétique de l'arôme dans le contexte africain. Après une sélection selon des critères d'inclusion et d'exclusion, 53 publications ont été retenues, analysées et synthétisées. L'exploitation des données montre que le principal gène responsable de l'arôme a été identifié, cartographié puis introgressé dans plusieurs variétés à l'échelle mondiale. Bien que les marqueurs moléculaires associés à l'arôme ont été largement développés, l'état de l'amélioration génétique de l'arôme en Afrique reste embryonnaire. Les futurs travaux devraient utiliser les accessions aromatiques comme Pusa basmati, Nerica 1 et Basmati 370 comme parents donneurs de gènes dans les programmes d'amélioration génétique.

**Mots clés :** Riz aromatique, Amélioration génétique, Sélection assistée par marqueurs, fragrance.

## ABSTRACT

Rice is a vital cereal crop, both nutritionally and economically. Among its most valued traits, aroma plays a key role in increasing its market value. Aromatic rice varieties possess a pleasant fragrance and flavor appreciated by consumers worldwide, including in Africa. However, breeding programs targeting aroma remain underdeveloped in Africa, and current knowledge on this subject is poorly documented. This work aims to provide an overview of the advances and challenges related to the genetic improvement of rice aroma in Africa, and to propose strategies to strengthen breeding efforts. It is based on a literature analysis of studies focusing on the genetic improvement of aroma in the African context. After applying inclusion and exclusion criteria, 53 publications were selected, analyzed, and synthesized. The data reveal that the main gene responsible for aroma has been identified, mapped, and introgressed into several varieties globally. Although molecular markers associated with aroma have been widely developed, the state of aroma genetic improvement in Africa remains at an early stage. Future work should consider aromatic accessions such as Pusa Basmati, NERICA 1, and Basmati 370 as donor parents in genetic improvement programs.

**Keywords :** Aromatic rice, Genetic improvement, Marker-assisted selection, Fragrance.

Corresponding author: Réel Gael Fael HOUNGBELAGNON,

Received in April 2025 and accepted in August 2025

E-mail address: [reel2houngbelagnon@gmail.com](mailto:reel2houngbelagnon@gmail.com)

## 1. INTRODUCTION

Le riz est une culture céréalière importante et est consommé par une grande majorité de la population mondiale (Bin Rahman et Zhang, 2023). En Afrique de l'Ouest, la production céréalière pour 2024 est estimée à environ 73,7 millions de tonnes, en légère baisse par rapport à l'année précédente en raison de conditions climatiques défavorables (FAO, 2024).

Depuis plusieurs années, les préférences en termes de qualités de riz des consommateurs se sont progressivement tournées vers le riz aromatique

(Dutta et al., 2022). Détenant désormais une part importante dans le commerce mondial de riz (Golam et al., 2011), ceux parfumés sont en effet considérés comme étant de meilleure qualité. Il en découle donc une demande croissante de riz aromatique tant sur les marchés nationaux qu'internationaux (Verma et Srivastav, 2020). La production totale de riz parfumé n'arrive cependant pas à combler les besoins des consommateurs dans le monde entier et encore moins en Afrique. Pour pallier ce problème, les avancées des technologies moléculaires ont renforcé l'arsenal des sélectionneurs, leur permettant de développer plus

rapidement de nouvelles variétés aromatiques (Mheni et al., 2024). Ces avancées technologiques réduisent considérablement le temps de sélection et améliorent la précision des programmes de sélection (Bhowmik et al., 2009 ; Mheni et al., 2024).

Les revues systématiques permettent de synthétiser de manière rigoureuse les résultats de recherches de plusieurs études (Nambiema et al., 2021). De plus, elles facilitent l'identification des lacunes dans la recherche et permettent d'orienter les futurs programmes de recherches en conséquence (Chérif et al., 2023). Plusieurs revues de littérature récentes (Hu et al., 2020 ; Ndikuryayo et al., 2022 ; Kongpun et al., 2024) ont été faites sur l'arôme du riz. Ces revues ont mis en évidence les avancées majeures dans la compréhension génétique de l'arôme du riz et ont identifié des cultivars aromatiques.

Cependant, ces études n'ont pas spécifiquement mis l'accent sur les recherches menées en Afrique. Cette revue systématique vise donc à combler cette lacune en synthétisant les connaissances et les avancées scientifiques sur le riz aromatique en Afrique.

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'état actuel de la sélection du riz aromatique sur le continent africain pour identifier les avancées réalisées, les limites rencontrées et les perspectives d'amélioration génétique. Plus spécifiquement, elle vise à : (1) synthétiser les connaissances actuelles sur l'arôme du riz, notamment ses bases génétiques, biochimiques et les facteurs influençant son expression et (2) analyser l'état des recherches en Afrique, en mettant en évidence les défis, les avancées et les perspectives en matière d'amélioration du riz aromatique. La revue s'articule autour de quatre grands axes : (I) les préférences des consommateurs du continent africain ; (II) l'arôme du riz ; (III) la base génétique de l'arôme ; (IV) les approches moléculaires pour sélectionner les cultivars aromatiques et (V) l'état actuel des travaux de sélection en Afrique et les principaux défis rencontrés.

## 2. Méthologie

Pour comprendre l'état actuel de la recherche sur l'amélioration du riz pour l'arôme en Afrique, il a été opté pour une revue systématique. Cette approche permet de collecter, d'évaluer et de synthétiser de manière exhaustive les données disponibles sur un sujet donné, en minimisant les biais de sélection. Elle a été privilégiée dans ce travail afin de fournir une vue d'ensemble fiable et représentative des connaissances actuelles, des lacunes et des avancées scientifiques en lien avec la sélection du riz aromatique sur le continent.

La recherche a été ainsi effectuée en utilisant le moteur de recherche "Google scholar" et la base "AGORA" par le biais du code institutionnel de l'Université d'Abomey-Calavi. La base de données du centre de riz pour l'Afrique (<https://www.africarice-fr.org>) a également été consultée.

Cette recherche a pris en compte tous les articles évalués par les pairs, les chapitres de livres et les communications de conférences disponibles dans ces moteurs de recherche au moment de la requête, sans restriction de période. Un ensemble de mots clés, en anglais et en français, a été utilisé pour une première recherche dans ces différents moteurs. Il s'agit de : amélioration pour l'arôme, sélection assistée par marqueurs, rétrocroisement assisté par marqueurs, riz aromatique, arôme, gène Fgr, amélioration génétique moléculaire et cartographie des QTL. Certains équivalents anglais de ces termes ont été utilisés afin d'élargir la portée de la recherche. Pour optimiser la recherche et obtenir des résultats

pertinents, les mots-clés ont été combinés à l'aide des opérateurs booléens "OR" et "AND", ce qui a permis d'élargir ou de restreindre les résultats.

Cette première recherche bibliographique a permis d'identifier 288 documents. Les doublons ont d'abord été supprimés. Ensuite, une sélection manuelle a été effectuée à l'aide des critères d'inclusion et d'exclusion définis dans le Tableau 1.

Tableau1 : Critères d'inclusion et d'exclusion

| CRITÈRES D'INCLUSION                                                                                                                                                                                                                                       | CRITÈRES D'EXCLUSION                                                                                        |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Articles scientifiques, revues de littérature, chapitres de livres et thèses de doctorat évalués par des pairs.                                                                                                                                            | Résumés de conférences, Articles de synthèse sans nouvelles données et documents non évalués par des pairs. |
| Études portant sur l'amélioration génétique du riz pour l'arôme, y compris la sélection assistée par marqueurs ( <i>Marker-Assisted Selection</i> ), le gène <i>fgr</i> , le gène <i>badh2</i> , le <i>QTL mapping</i> et d'autres approches de sélection. | Études non pertinentes ou hors sujet                                                                        |
| La méthodologie est claire et reproductible                                                                                                                                                                                                                | La méthodologie n'est pas claire                                                                            |
| Publications en anglais et en français.                                                                                                                                                                                                                    | Publications dans des langues autres que l'anglais et le français.                                          |

Cette procédure a abouti à une sélection finale de 53 documents, jugés pertinents pour l'analyse bibliographique. Les 53 articles retenus ont été lus intégralement et analysés. Leur contenu a ensuite été organisé en thématiques principales correspondant aux grands axes de la revue : (I) les préférences des consommateurs du continent africain ; (II) l'arôme du riz ; (III) la base génétique de l'arôme ; (IV) les approches moléculaires pour sélectionner les cultivars aromatiques et (V) l'état actuel des travaux de sélection en Afrique et les principaux défis rencontrés.

## 3. Résultats

### 3.1. Préférences des consommateurs du continent africain

Plusieurs facteurs influencent le choix des variétés de riz par les consommateurs. Aujourd'hui, les préférences et exigences des consommateurs africains ont évolué et se sont tournées vers le riz aromatique (Fatondji et al., 2020). L'arôme du riz est devenu une caractéristique d'une grande importance économique (Verma et Srivastav, 2020). Très appréciée par les consommateurs, la présence de l'arôme augmente la valeur marchande du riz. De plus, d'après Ndikuryayo et al. (2023), l'arôme et le goût seraient corrélés positivement.

Du fait de la préférence accrue des consommateurs pour ce caractère, la demande en riz aromatique ne cesse de croître tant sur les marchés nationaux qu'internationaux (Verma et srivastav, 2020). Ainsi, de nombreuses études, menées dans plusieurs pays d'Afrique, se sont intéressées aux préférences des consommateurs du continent en termes de qualité de riz. Au Bénin, une étude sur les préférences variétales des producteurs de riz a montré que le goût et le rendement élevé étaient les critères les plus recherchés (chacun cité par 28 % des répondants), suivis de l'arôme (mentionné par 24 % d'entre eux) (Fatondji et al., 2020). De plus, plus de 75 % des producteurs ghanéens (Asante et al., 2013) et

34 % des producteurs Kenyans (Kimani et al., 2011) ont préféré cultiver respectivement les variétés Jasmine 85 et Basmati 370, appréciées pour leur bon goût, leur arôme agréable et leur excellente qualité culinaire (Fatondji et al., 2020). Ce choix leur assure de meilleurs débouchés commerciaux par rapport à d'autres variétés. Au Soudan du Sud, des tests ont également été réalisés sur les variétés importées et locales (Mogga et al., 2019) afin d'évaluer la perception des consommateurs concernant les qualités de cuisson et de consommation de riz. Les variétés les mieux classées étaient les riz importés, principalement appréciés pour leur goût sucré, leur capacité de gonflement, la forme et la taille des grains, leur texture non collante et surtout leur arôme agréable. Pour ce qui est des variétés locales, Mogga et al. (2019) rapportent que NERICA 1 a été préféré en grande partie grâce à son arôme distinctif, sa couleur attrayante et sa faible consommation d'eau à la cuisson. Le même constat a été établi au Ghana par Frimpong et al. (2023), qui ont identifié l'arôme comme le deuxième caractère le plus recherché pour la valorisation commerciale du riz, juste après la longueur et la finesse des grains.

L'ensemble des éléments présentés ci-dessus met en évidence l'importance croissante accordée à l'arôme du riz en Afrique. Cependant, en dépit de leur potentiel tant adulé, les variétés aromatiques mondialement connues (Basmati d'origine indienne et pakistanaise) n'ont pas pu être adoptées dans certains pays d'Afrique. Ces dernières ne sont en effet pas adaptées aux conditions africaines et succombent assez facilement aux stress biotique et abiotique (Lamo et al., 2021). Ce défaut pousse par conséquent les consommateurs africains en quête de riz aromatique à s'orienter vers ceux importés et jugés de qualité supérieure (propreté, blancheur et arôme) (Asante et al., 2013).

### 3.2. L'arôme du riz

Les riz aromatiques contiennent un composé olfactif appelé le 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) (Laguerre et al., 2007) responsable de l'odeur. Les premières recherches sur l'arôme du riz remontent à 30 ans (Buttery et al., 1983). Mais, c'est avec le développement et l'application de la chromatographie en phase gazeuse que les composés volatils du riz ont été identifiés et quantifiés. Il a été découvert que le riz est constitué d'un mélange de plusieurs composés volatils qui lui confère sa saveur caractéristique. Plus de 500 composés volatils ont en effet été identifiés chez le riz (Verma et Srivastav., 2018). Au nombre de ces composés, il est très vite ressorti que la 2AP découverte par Buttery et al. (1983) constitue le composé aromatique le plus important du riz cuit.

Les géotypes de riz non parfumés ont une très faible teneur en 2AP (moins de 8 parties par milliard) alors que la teneur en 2AP dans les variétés parfumées était de l'ordre de 40 à 900 parties par milliard (Buttery et al., 1983). Gaur et Wani (2016) ont montré que le 2AP est produit dans toutes les sections de la plante, sauf dans les racines où son niveau d'expression est très faible. Cependant, le composé est présent en grande quantité dans les feuilles au début de la croissance. Sa concentration atteint un pic au stade d'épiaison, puis diminue au stade reproductif. Il a été rapporté que l'arôme est transféré des feuilles et de la gaine des tiges vers les grains, où il s'accumule (Kongchum et al., 2022). Bien que la qualité du riz parfumé soit principalement déterminée par des facteurs génétiques, elle peut être fortement influencée par l'environnement et les pratiques culturales (Pinson,

1994). Des éléments, tels que la température durant le remplissage et la maturation des grains (Itani et al., 2004), ainsi que le moment du séchage au champ et de la récolte (Champagne et al., 2005), jouent un rôle essentiel dans la qualité finale du produit. Les facteurs génétiques restent toutefois les plus déterminants dans la présence d'arôme.

La préférence des consommateurs pour le riz parfumé a fait que les chercheurs s'intéressent de plus en plus à l'arôme du riz. Des tests sensoriels ont dès lors été effectués dans le but d'identifier et de caractériser le parfum du riz. D'après Hien et al. (2006), le test sensoriel est une méthode simple et fiable pour l'identification rapide du riz aromatique. Ce type de test est réalisé en utilisant une solution de KOH d'après la méthode décrite par Sood et al. (1983) ou celle modifiée par Golam et al. (2010). Pour ce qui est de la quantification de la teneur en 2AP, la chromatographie en phase gazeuse et la spectrométrie de masse (SM) sont deux méthodes utilisées par les sélectionneurs. La chromatographie en phase gazeuse permet l'analyse quantitative de la 2-acetyl-1-pyrroline (Sriseadka et al., 2006) en séparant les composants chimiques d'un échantillon, qui sont ensuite détectés et quantifiés (Ramtekey et al., 2021). L'échantillon est vaporisé et injecté dans une colonne chromatographique, où les différents composants sont séparés selon leurs propriétés physiques et chimiques, avec un gaz inerte servant de milieu porteur (Ramtekey et al., 2021). La spectrométrie de masse (SM) quant à elle, mesure le rapport masse/charge des ions et donc produit un spectre de masse (Laguerre et al., 2007). L'association de la GC et de la MS permet par conséquent la séparation et la quantification simultanées des composés volatils et est couramment utilisée pour l'analyse de la teneur en arômes du riz (Ramtekey et al., 2021). À titre illustratif, le tableau 2 présente les teneurs en 2AP détectées dans quelques géotypes de riz.

Tableau 2 : Teneurs en 2ap détectées dans quelques géotypes de riz

| GÉNOTYPE      | ORIGINE             | MOYENNE 2AP EN % | SOURCE             |
|---------------|---------------------|------------------|--------------------|
| Agra 41       | AfricaRice, Benin   | 0.1520 ± 0.0370  | Ocan et al. (2021) |
| Agra 55       | CRI, Ghana          | 0.1595f ± 0.0159 | Ocan et al. (2021) |
| Ambemohar 157 | Inde                | 0.0662 ± 0.0000  | Hinge et al., 2015 |
| Basmati 370   | Inde                | 0.0451 ± 0.0000  | Hinge et al., 2015 |
| Komboka       | IRRI, Philippines   | 0.0957 ± 0.0354  | Ocan et al. (2021) |
| Supa 1052     | AfricaRice, Nigeria | 0.3217 ± 0.0329  | Ocan et al. (2021) |
| Supa 5        | IRRI, Philippines   | 0.2445 ± 0.0268  | Ocan et al. (2021) |
| Yasmin        | Egypte              | 0.3195 ± 0.0576  | Ocan et al. (2021) |

Les contreforts de l'Himalaya, couvrant l'Uttar Pradesh, le Bihar et la région du Terai au Népal, sont considérés comme le centre de la diversité du riz aromatique (Khush, 2000). En effet, les allèles du gène de l'arôme semblent tous provenir du même groupe de géotypes aromatiques originaires de ces régions (Pachauri et al., 2010). Par ailleurs, des études utilisant des marqueurs SSR ont révélé une variabilité importante parmi les géotypes de riz aromatiques. Par

exemple, 32 paires d'amorces ont été utilisées par Jasim et al. (2018) afin d'analyser la diversité génétique de 50 génotypes de riz aromatiques. Les résultats ont montré un haut niveau de polymorphisme, confirmant la richesse génétique des variétés aromatiques.

### 3.3. Base génétique de l'arôme

Le 2AP étant reconnu comme l'élément principal conférant le parfum au riz, les scientifiques ont orienté leurs recherches vers l'analyse de sa régulation et de sa base génétique. Plusieurs efforts ont été entrepris pour identifier et cartographier le gène responsable de la production de 2AP dans diverses variétés de riz aromatique (Daygon et al. (2016) ; Ding et al. (2009) ; Veerabhadraswamy et al. (2022)). Le gène récessif *fgr* (fragrance) localisé sur le chromosome 8 a ainsi été identifié comme celui principal régissant l'arôme du riz (Ahn et al., 1992). Une analyse plus approfondie a permis d'identifier deux marqueurs moléculaires localisés sur le gène codant pour la bétaine déshydrogénase (*BADH2*) (Bradbury et al., 2005). Ce résultat montre l'implication du gène *BADH2* dans le contrôle de l'arôme. Ensuite, le séquençage des variétés de riz par Veerabhadraswamy et al. (2022), ont révélé la présence d'une mutation de 8 paires de bases dans l'exon 7 chez le riz aromatique alors que cette mutation était absente chez la variété non aromatique. La différence entre les riz aromatiques et non aromatiques est donc due à une variation de séquence dans le gène *BADH2*.

En effet, lorsque *BADH2* est actif, il inhibe la biosynthèse de la 2AP dans le riz non parfumé en convertissant le  $\gamma$ -aminobutyraldéhyde (GAB-ald) en acide  $\gamma$ -aminobutyrique (GABA) (Kamaraj et al., 2013). Cette mutation empêche donc l'inhibition de la 2AP en perturbant la fonction de la protéine (*BADH2*) (Chen et al., 2006).

**codon d'initiation (ATG)** situé dans le premier exon et un **codon-stop (ATT)** dans le quinzième exon (Shan et al., 2015).

### 3.4. Approches moléculaires pour sélectionner les cultivars de riz aromatiques

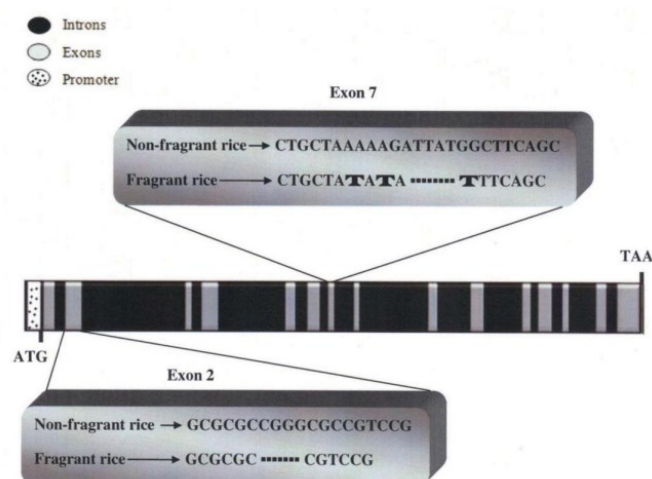
#### 3.4.1. Sélection assistée par marqueur (*sam*)

Les génotypes de riz aromatiques peuvent être discriminés des riz non aromatiques par des approches moléculaires. Ces méthodes consistent à extraire l'ADN des plantes, puis à identifier sur la base de marqueurs moléculaires les génotypes du riz qui possèdent des QTLs ou des gènes associés au caractère aromatique. Pour rappel, les marqueurs moléculaires sont des séquences nucléotidiques qui permettent une forte précision de sélection en un temps relativement court. Ils permettent de combiner plusieurs caractères cibles dans un seul cultivar (Afiukwa et al., 2016 ; Ndikuryayo et al., 2022). Les principaux marqueurs moléculaires utilisés incluent le polymorphisme de longueur des fragments de restriction (RFLP), le polymorphisme de longueur des fragments amplifiés (AFLP), l'ADN polymorphe amplifié au hasard (RAPD), les répétitions interséquences simples (ISSR), les répétitions de séquences simples (SSR), le polymorphisme d'un seul nucléotide (SNP), les rétrotransposons ainsi que les marqueurs issus de la technologie des matrices de diversité (DArT) (Nadeem et al., 2018 ; Ndikuryayo et al., 2022).

Dans le cadre du développement de marqueurs pour le gène *BADH2*, un système de marqueurs ciblant la délétion de 8 paires de bases a été développé pour le génotypage de l'arôme (Bradbury et al., 2005). Bien que ce système soit précis, il reste complexe à appliquer en sélection assistée par marqueur (SAM) à cause du nombre d'amorces nécessaires, de l'amplification faible de certains fragments et des compétitions entre amorces (Perween, 2017).

Par la suite, des marqueurs étroitement liés au gène *fgr* ont été développés par Sun et al. (2008). Il s'agit par exemple de RM515 (à 2 cM); RM8264 (à 1,3 cM); RM7049, RM7356 et RM7556 (Perween, 2017). Chen et al. (2006) ont initialement localisé *fgr* entre RM8264 et RM3459 à une distance d'environ 800 kb, avant de le restreindre à un intervalle de 69 kb délimité par les marqueurs L02 et L06. Des marqueurs SNP associés à *fgr* ont également été validés pour des programmes d'introgression (Cheng et al., 2017).

Golestan et al. (2015), via une cartographie sur une population  $F_2$  obtenue par croisement entre variétés aromatique et non aromatique, ont localisé sur le chromosome 8 des marqueurs. Il s'agit notamment de RM223, L06, Aro7, SCUO15RM et RM515, fortement liés à l'arôme et par conséquent utiles aux programmes de SAM (Figure 2). Certains de ces marqueurs ont leurs séquences listées dans le tableau 3.



Source : (Bigyan et al. (2021)

Figure 1 : Structure du gène *fgr* (*BADH2*)

La structure du gène *BADH2* (Figure 1) présente deux allèles non fonctionnels identifiés chez les variétés de riz aromatique. L'allèle *badh2-E7* est caractérisé par trois mutations ponctuelles (SNPs) et une délétion de 8 paires de bases dans le 7<sup>e</sup> exon, tandis que l'allèle *badh2-E2* comporte une délétion de 7 paires de bases dans le 2<sup>e</sup> exon (Bigyan et al., 2021).

En revanche, les variétés non aromatiques possèdent un allèle fonctionnel de *BADH2*, structuré en 15 exons et 14 introns, avec un

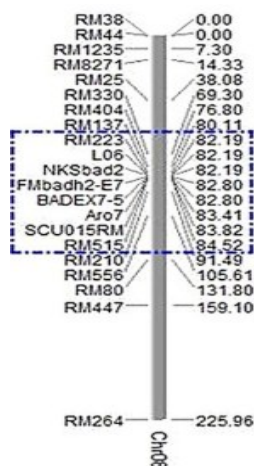


Figure 2 : Cartographie des marqueurs liés à l'arôme sur le chromosome 8, basée sur une population  $F_2$  issue du croisement entre une variété de riz aromatique et une non aromatique adapté de Golestan et al. (2015). Les marqueurs situés dans les cadres bleus sont ceux fortement liés à l'arôme.

Tableau3 : Séquences de quelques amorces étroitement associées au gène *fgt*

| Amorces  | Séquences                                          | Références            |
|----------|----------------------------------------------------|-----------------------|
| RM 223   | R: GAAGGCAAGCTCTGGCACTG<br>F: GAGTGAGCTTGGGCTGAAAC | Temnykhet al., 2000   |
| RM 515   | R: TGGCCTGCTCTCTCTCTC<br>F: TAGGACGACCAAGGGTGAG    | Temnykhet al., 2000   |
| Aro 7    | R: GAGATGGGAAGATAAA<br>F: ATTTGCTCTGAGTCTG         | Sun et al., 2008      |
| SCU015RM | R: TTTTCCACGACGCAACAT<br>F: GGTTCAATCAAGCTCCAGC    | Cordeiro et al., 2002 |
| L06      | R: GCTAAGTCCGCTACGCAA<br>F: GCAAGTGACGGAGTACGCCT   | Chen et al., 2006     |

### 3.4.2. Le rétrocroisement assiste par marqueurs

Il s'agit d'une méthode efficace utilisée en sélection végétale qui consiste à introduire le gène *fgt* dans le fond génétique d'une variété élite non aromatique tout en conservant ses qualités agronomiques. Contrairement à la sélection conventionnelle, qui est plus longue, le rétrocroisement assisté par marqueurs permet de gagner du temps en identifiant, grâce aux marqueurs moléculaires, les génotypes souhaités à chaque génération de croisement. En effet, l'utilisation de marqueurs moléculaires flanquant et étroitement liés au gène *fgt*, comme RM223 et RM515 (Golestan et al., 2015), permet un suivi précis du locus d'arôme au cours des générations de croisement. De telles approches ont déjà été utilisées avec succès en Asie, et leur adoption en Afrique pourrait accélérer la mise au point de variétés locales aromatiques.

Par exemple, Cheng et al. (2017) ont réussi à introgresser le gène *fgt* dans deux variétés malaisiennes MR84 et MR219 en utilisant le marqueur SNP lié au gène *fgt* (*fgt*-SNP). La MABC leur a ainsi permis de réussir l'introgression du gène *fgt* en seulement 2 ans de croisement ; là où la sélection conventionnelle sans marqueur moléculaire prendrait beaucoup plus de temps. D'autres études, comme celle de Zhao et al. (2017) ou encore plus récemment Chen et al. (2024) ont réussi l'introgression du gène *fgt* par la méthode du backcross assisté par marqueur.

### 3.4.5. États actuels et défis de la sélection du riz aromatique en Afrique

L'état actuel de la sélection du riz aromatique en Afrique est marqué par des progrès limités. La littérature montre que l'intérêt pour le riz aromatique sur le continent n'a véritablement émergé qu'à partir des années 2010, avec une intensification des recherches après 2015. En effet, sur les 53 documents pris en compte dans cette revue systématique, seulement 18 ont été réalisés en Afrique. Ce constat souligne l'insuffisance de littérature disponible sur l'amélioration du riz aromatique en Afrique. De plus, la majorité de ces 18 études traitent soit de préférences des consommateurs en matière d'arôme, soit de sélection phénotypique et moléculaire de germoplasme aromatique (Kioko et al., 2015 ; Moshi et al., 2016 ; Palanga et al., 2016 ; Yuga et al., 2018 ; Dansou et al., 2023 ; Nanoukon et al., 2024). Les résultats de ces différentes études montrent que le continent africain dispose de germoplasmes de riz aromatique qui pourraient être utilisés comme parent donneur lors de programmes d'amélioration génétique pour l'arôme. Par exemple, en combinant les marqueurs moléculaires à l'évaluation sensorielle, Ndikuryayo et al. (2023) ont effectué des sélections précises de riz aromatiques destinées aux programmes de sélection.

Toutefois, des cas d'introgression assistée par marqueur du gène de l'arôme réalisés en Afrique sont quasi inexistantes. Le centre de riz pour l'Afrique avait lancé la première génération des variétés NERICA, parmi lesquelles certaines, comme NERICA 1, présentaient un arôme léger (Odhambo et al., 2020). Toutefois, ces variétés ont été largement abandonnées par les producteurs, et la majorité d'entre elles (comme NERICA 4 et NERICA 10) ne contenaient que peu de composés aromatiques, voire étaient dépourvues de 2-AP (Odhambo et al., 2017). En réponse à cette limitation, AfricaRice, en partenariat avec ses collaborateurs, a mis en œuvre le programme ORYLUX dès 2020 afin de développer des variétés de riz hautement valorisées, notamment aromatiques (AfricaRice, 2020). La série aromatique ORYLUX (1 à 6) a ainsi vu le jour et est issue de croisement entre la variété locale WITA 1 et la variété aromatique Pusa Basmati (AfricaRice, 2020). En revanche, à l'exception du Centre du riz pour l'Afrique (AfricaRice), nous n'avons trouvé dans la littérature aucun rapport ou résultat de recherche mentionnant une introgression réussie du gène de l'arôme en Afrique.

La sélection de l'arôme du riz est complexe en raison de son faible taux d'efficacité, de la contribution limitée des QTL individuels et de l'influence marquée de l'environnement (Pachauri et al., 2010). Étant un caractère fortement influencé par l'environnement, l'arôme peut donc varier considérablement selon le milieu de culture, même pour une même variété (Ndikuryayo et al., 2022). L'adaptation de nouveaux

cultivars de riz aromatiques aux conditions locales représente donc un défi de taille. Les variétés développées pour une expression optimale de l'arôme dans une région peuvent ne pas produire les mêmes résultats dans différentes zones agroécologiques d'Afrique. Par exemple, Itani et al. (2004) et Champagne et al. (2005) ont montré que la teneur en 2AP varie significativement selon les conditions de culture, même pour un même génotype. Les programmes de sélection doivent ainsi tenir compte des conditions environnementales spécifiques (Mheni et al., 2024) afin de garantir une expression stable et uniforme de l'arôme dans divers environnements. L'idéal serait de développer les nouvelles variétés aromatiques à partir des variétés qui se sont déjà adaptées aux conditions locales des pays d'Afrique.

L'acceptation des variétés de riz aromatiques et leur adoption par les agriculteurs constituent de notables enjeux. Le développement de ces variétés aromatiques doit être en adéquation avec les exigences du marché et les préférences des consommateurs afin de favoriser leur intégration dans les systèmes de production existants. Les programmes de sélection doivent ainsi être faits de manière participative en faisant intervenir les communautés et autres acteurs intervenant dans la filière riz. Cette approche faciliterait la prise en main et l'adoption de ces nouvelles variétés.

#### 4. Conclusion et perspectives

L'arôme du riz, principalement déterminé par l'accumulation de 2-acétyl-1-pyrroline (2AP), est aujourd'hui reconnu comme un caractère de qualité hautement valorisé tant par les producteurs que par les consommateurs. Les avancées scientifiques ont permis de mieux comprendre la base génétique de ce caractère par l'identification du gène *fgr* (BADH2) et le développement de marqueurs moléculaires liés à l'arôme. Le développement de ces marqueurs moléculaires ouvre ainsi la voie aux programmes de sélection assistée par marqueur. L'analyse de la littérature montre que l'amélioration de l'arôme chez le riz en Afrique reste limitée, avec peu de programmes de sélection ayant abouti à des variétés aromatiques. Il importe que les variétés locales africaines soient améliorées à partir de génotypes aromatiques comme Nerica 1, Pusa basmati et Basmati 370 en utilisant la sélection assistée par marqueur.

#### Conflits d'intérêts

Les auteurs déclarent que cette étude a été réalisée en l'absence de tout conflit d'intérêts.

#### References bibliographiques

- Afiukwa, C. A. A., Faluyi, J. O., Atkinson, C. J., Ubi, B. E. U., Igwe, D. O., & Akinwale, R. O. (2016). Screening of some rice varieties and landraces cultivated in Nigeria for drought tolerance based on phenotypic traits and their association with SSR polymorphisms. *African Journal of Agricultural Research*, 11(29): 2599-2615. <https://doi.org/10.5897/AJAR2016.11239>
- AfricaRice. (2020). Variétés ORYLUX : Riz aromatique pour l'Afrique. <https://www.africarice-fr.org/orylux>.
- Ahn, S. N., Bollich, C. N., & Tanksley, S. D. (1992). RFLP tagging of a gene for aroma in rice. *Theoretical and Applied Genetics*, 84: 825-828. <https://doi.org/10.1007/BF00227391>
- Asante, M. D., Asante, B. O., Acheampong, G. K., Offei, S. K., Gracen, V., Adu-Dapaah, H., & Danquah, E. Y. (2013). Farmer and consumer preferences for rice in the Ashanti region of Ghana: Implications for rice breeding in West Africa. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 5(12): 229-238. <https://doi.org/10.5897/JPBCS13.0409>
- Bigyan, K. C., Pandit, R., Regmi, R., Bhusal, B., Neupane, P., Bhattarai, K. et al. (2021). Genetic Basis Of Rice Aroma Gene And Its Application In Rice Genetics And Breeding: A Review. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 111(3):170-175. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2021-03.20>
- Bhowmik, S. K., Titov, S., Islam, M. M., Siddika, A., Sultana, S., & Haque, M. S. (2009). Phenotypic and genotypic screening of rice genotypes at seedling stage for salt tolerance. *African Journal of Biotechnology*, 8(23): 6490-6494.
- Bin Rahman, A. R., & Zhang, J. (2023). Trends in rice research: 2030 and beyond. *Food and Energy Security*, 12(2): e390. <https://doi.org/10.1002/fes3.390>
- Bradbury, L. M., Fitzgerald, T. L., Henry, R. J., Jin, Q., & Waters, D. L. (2005). The gene for fragrance in rice. *Plant biotechnology journal*, 3(3): 363-370. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7652.2005.00131.x>
- Buttery, R. G., Ling, L. C., Juliano, B. O., & Turnbaugh, J. G. (1983). Cooked rice aroma and 2-acetyl-1-pyrroline. *Journal of agricultural and food chemistry*, 31(4): 823-826. <https://doi.org/10.1021/jf00118a036>
- Champagne, E. T., Bett-Garber, K. L., Thompson, J., Mutters, R., Grimm, C. C., & McClung, A. M. (2005). Effects of drain and harvest dates on rice sensory and physicochemical properties. *Cereal chemistry*, 82(4): 369-374. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0369>
- Chen, J., Li, S., Zhou, L., Zha, W., Xu, H., & Liu, K. (2024). Rapid breeding of an early maturing, high-quality, and high-yielding rice cultivar using marker-assisted selection coupled with optimized anther culture. *Molecular Breeding*, 44(9): 58. <https://doi.org/10.1007/s11032-024-01495-4>
- Chen, S., Wu, J., Yang, Y., Shi, W., & Xu, M. (2006). The *fgr* gene responsible for rice fragrance was restricted within 69 kb. *Plant Science*, 171(4): 505-514. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2006.05.013>

- Cheng, A., Ismail, I., Osman, M., Hashim, H., & Mohd Zainual, N. S. (2017). Rapid and targeted introgression of *fgr* gene through marker-assisted backcrossing in rice (*Oryza sativa* L.). *Genome*, 60(12): 1045-1050. <https://doi.org/10.1139/gen-2017-0100>
- Chérif, A. A., Houndonougbo, J. S., Idohou, R., Mensah, S., Azihou, A. F., Avocèvou-Ayisso, C. et al. (2023). Towards sustainable conservation and domestication of *Balanites aegyptiaca* L. (Zygophyllaceae) in Africa: progress and challenges. *Journal of Arid Environments*, 218: 105053. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2023.105053>
- Cordeiro, G. M., Christopher, M. J., Henry, R. J., & Reinke, R. F. (2002). Identification of microsatellite markers for fragrance in rice by analysis of the rice genome sequence. *Molecular Breeding*, 9: 245-250. <https://doi.org/10.1023/a:1020350725667>
- Dansou, V., Houssou, P. A. F., Kouke, Y. S. R., Hotegni, A. B., Sagui, W. A. C., Aboudou, K., & Zannou, H. (2023). Physicochemical and sensory characterization of five promising aromatic rice accessions in Benin. *Food and Environment Safety Journal*, 22(1). <http://dx.doi.org/10.4316/fens.2023.004>
- Daygon, V. D., Prakash, S., Calingacion, M., Riedel, A., Ovenden, B., Snell, P. et al. (2016). Understanding the Jasmine phenotype of rice through metabolite profiling and sensory evaluation. *Metabolomics*, 12: 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11306-016-0989-6>
- Ding, H. F., Yao, F. Y., Li, G. X., Jiang, M. S., Li, R. F., Zhang, X. D., ... & Zhang, Y. (2009). Delimitation of the *fgr* gene for rice fragrance to a 28-kb DNA fragment. *Russian Journal of Plant Physiology*, 56 (4) : 532-539. <https://doi.org/10.1134/s102144370904013x>
- Dutta, C., Nath, D. J., & Phyllei, D. (2022). Aromatic Rice and Factors Affecting Aroma in Rice. *International Journal of Environment and Climate Change*: 1773-1779. <https://doi.org/10.9734/ijecc/2022/v12i1131162> FAO (FAOSTAT 2024). <https://www.fao.org/faostat>
- Fatondji, B. Y., Adoukonou-Sagbadja, H., Sognigbe, N., Gandonou, C., & Vodouhè, R. S. (2020). Farmers' preferences for varietal traits, their knowledge and perceptions in traditional management of drought constraints in rice cropping in Benin: Implications for rice breeding. *Journal of Agricultural Science*, 12(11): 56-77. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n11p56>
- Frimpong, B. N., Asante, B. O., Asante, M. D., Ayeh, S. J., Sakyamah, B., Nchanji, E., ... & Tufan, H. (2023). Identification of gendered trait preferences among Rice producers using the G+ breeding tools: implications for Rice improvement in Ghana. *Sustainability*, 15(11), 8462. <https://doi.org/10.3390/su15118462>
- Golam F., Norzuaiani, K., Jennifer, A. H., Subha, B., Zulqarnain, M., Osman, M. et al. (2010). Evaluation of kernel elongation ratio and aroma association in global popular aromatic rice cultivars in tropical environment. *African Journal of Agricultural Research*, 5(12) : 1515-1522. <https://doi.org/10.5897/AJAR.9000368>
- Gaur, A., & Wani H, S. (2016). Understanding the Fragrance in Rice. *Rice Research*, 4(1). <https://doi.org/10.4172/2375-4338.1000e125>
- Golam, F., Yin, Y. H., Masitah, A., Afnierna, N., Majid, N. A., Khalid, N., & Osman, M. (2011). Analysis of aroma and yield components of aromatic rice in Malaysian tropical environment. *Australian Journal of Crop Science*, 5(11): 1318-1324.
- Golestan Hashemi, F. S., Rafii, M. Y., Razi Ismail, M., Mohamed, M. T. M., Rahim, H. A., Latif, M. A., & Aslani, F. (2015). Opportunities of marker-assisted selection for rice fragrance through marker-trait association analysis of microsatellites and gene-based markers. *Plant Biology*, 17(5) : 953-961. <https://doi.org/10.1111/plb.12335>
- Hien, N. L., Yoshihashi, T., Sarhadi, W. A., Thanh, V. C., Oikawa, Y., & Hirata, Y. (2006). Evaluation of aroma in rice (*Oryza sativa* L.) using KOH method, molecular markers and measurement of 2-acetyl-1-pyrroline concentration. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 50(4) : 190-198. <https://doi.org/10.11248/jsta1957.50.190>
- Hinge, V., Patil, H., & Nadaf, A. (2015). Comparative characterization of aroma volatiles and related gene expression analysis at vegetative and mature stages in basmati and non-basmati rice (*Oryza sativa* L.) cultivars. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 178(4) : 619-639. <https://doi.org/10.1007/s12010-015-1898-2>
- Hu, X., Lu, L., Guo, Z., & Zhu, Z. (2020). Volatile compounds, affecting factors and evaluation methods for rice aroma: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 97: 136-146. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.01.003>
- Itani, T., Tamaki, M., Hayata, Y., Fushimi, T., & Hashizume, K. (2004). Variation of 2-acetyl-1-pyrroline concentration in aromatic rice grains collected in the same region in Japan and factors affecting its concentration. *Plant production science*, 7(2): 178-183. <https://doi.org/10.1626/pp.s.7.178>
- Jasim Aljumaili, S., Rafii, M. Y., Latif, M. A., Sakimin, S. Z., Arolu, I. W., & Miah, G. (2018).

- Genetic diversity of aromatic rice germplasm revealed by SSR markers. *BioMed research international*, 2018(1): 7658032.
- Kimani, J. M., Tongoona, P., Derera, J., & Nyende, A. B. (2011). Upland rice varieties development through participatory plant breeding. *ARPN Journal of agricultural and biological science*, 6(9): 39-49.
- Kioko, W. F., Musyoki, M. A., Piero, N. M., Muriira, K. G., Wavinya, N. D., Rose, L. et al. (2015). Genetic diversity studies on selected rice (*Oryza sativa* L) populations based on aroma and cooked kernel elongation. *Journal of Phylogenetics & Evolutionary Biology*, 3(158): 2. <https://doi.org/10.4172/2329-9002.1000158>
- Kongchum, M., Harrell, D. L., & Linscombe, S. D. (2022). Comparison of 2-acetyl-1-pyrroline (2AP) in rice leaf at different growth stages using gas chromatography. *Agricultural Sciences*, 13(2): 165-176. <https://doi.org/10.4236/as.2022.132013>
- Kongpun, A., Pusadee, T., Jaksomsak, P., Chinachanta, K., Tuiwong, P., Chan-In, P., ... & Prom-U-Thai, C. (2024). Abiotic and biotic factors controlling grain aroma along value chain of fragrant rice: a review. *Rice Science*, 31(2): 142-158. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2023.11.004>
- Khush, G.S. (2000). Taxonomy and origin of rice. In: Singh, R.K., Singh, US, Khush, G.S. (eds). *Aromatic rices*. Oxford and IBH, New Delhi, pp. 5-13
- Laguerre, M., Mestres, C., Davrieux, F., Ringuet, J., & Boulanger, R. (2007). Rapid discrimination of scented rice by solid-phase microextraction, mass spectrometry, and multivariate analysis used as a mass sensor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(4): 1077-1083. <https://doi.org/10.1021/jf0623992>
- Lamo, J., Ochan, D., Abebe, D., Ayalew, Z. Z., Mlaki, A., & Ndikuryayo, C. (2021). Irrigated and Rain-Fed Lowland Rice Breeding in Uganda: A. *Cereal grains*, 2, 137. <https://doi.org/10.5772/intechopen.97157>
- Mheni, N. T., Kilasi, N., Quiloy, F. A., Heredia, M. C., Bilaro, A., Meliyo, J., ... & Nchimbi Msolla, S. (2024). Breeding rice for salinity tolerance and salt-affected soils in Africa: a review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1): 2327666. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2327666>
- Mogga, M., Sibiya, J., Shimelis, H., Lamo, J., & Ochanda, N. (2019). Appraisal of major determinants of rice production and farmers' choice of rice ideotypes in south sudan: implications for breeding and policy interventions. *Experimental Agriculture*, 55(1):143-156. <https://doi.org/10.1017/S0014479718000017>
- Moshi, W. E. (2016). Association of Betaine Aldehyde Dehydrogenase 2.1 (Badh2. 1) Gene Allele with aroma in popular traditional rice varieties in Tanzania. Doctoral dissertation, Sokoine University of Agriculture, Morogoro, Tanzania.82p.
- Nadeem, M. A., Nawaz, M. A., Shahid, M. Q., Doğan, Y., Comertpay, G., Yıldız, M., ... & Baloch, F. S. (2018). DNA molecular markers in plant breeding: current status and recent advancements in genomic selection and genome editing. *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 32(2): 261-285. <https://doi.org/10.1080/13102818.2017.1400401>
- Nambiema, A., Fouquet, J., Guilloteau, J., & Descatha, A. (2021). La revue systématique et autres types de revue de la littérature : qu'est-ce que c'est, quand, comment, pourquoi ? *Archives des Maladies Professionnelles et de l'Environnement*, 82(5) : 539-552. <https://doi.org/10.1016/j.admp.2021.03.004>
- Nanoukon, C. N. M., Hambada, K. D. M., Thiémélé, D. E. F., Loumedjinon, B. M. P. F., Affolabi, B. F. C. W., Havivi, A. S., ... & Djedatin, L. G. (2024). Sensory Phenotypic and Molecular Identification of Aromatic Rice Accessions Cultivated in Benin. *Advances in Bioscience and Biotechnology*, 15(3):195-206. <https://doi.org/10.4236/abb.2024.153014>
- Ndikuryayo, C., Ndayiragije, A., Kilasi, N., & Kusolwa, P. (2022). Breeding for rice aroma and drought tolerance: A review. *Agronomy*, 12(7):1726. <https://doi.org/10.3390/agronomy12071726>
- Ndikuryayo, C., Ndayiragije, A., Kilasi, N., & Kusolwa, P. (2023). Screening for aroma in rice genotypes with African and Asian backgrounds. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 8(1): e20045. <https://doi.org/10.1002/uar.2.20045>
- Ocan, D., Tusiime, R., Khizzah, B. W., Lamo, J., Chiteka, A., & Rubaihayo, P. R. (2021). Inheritance studies of grain shape and aroma traits of rice genotypes in Uganda rice germplasm. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 13(3): 77-86. <https://doi.org/10.5897/JPBCS2021.0953>
- Odhiambo BA, Owuor PO, Onyango JC, Okora JO (2020) Volatile Flavour Compounds of New Rice for Africa (NERICA) Varieties and the Effect of Nitrogen Fertilizer Rates in their Production in Lake Victoria Basin, Western Kenya. *Journal of Rice Research* 8: 223.
- Pachauri, V., Singh, M. K., Singh, A. K., Singh, S., Shakeel, N. A., Singh, V. P., & Singh, N. K. (2010). Origin and genetic diversity of aromatic rice varieties, molecular breeding and chemical and genetic basis of rice

- aroma. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*, 19:127-143. <https://doi.org/10.1007/BF03263333>
- Palanga, K. K., Traore, K., Bimpong, K., Jamshed, M., & Mkulama, M. A. (2016). Genetic diversity studies on selected rice varieties grown in Africa based on aroma, cooking and eating quality. *African Journal of Biotechnology*, 15(23): 1136-1146.
- Perween, S. (2017). Molecular characterisation of genetic diversity in aromatic rice genotypes of chattisgarh region. *Journal of Crop and Weed*, 14: 94-99.
- Pinson, S. R. M. (1994). Inheritance of aroma in six rice cultivars. *Crop Science*, 34(5): 1151-1157. <https://doi.org/10.2135/cropsci1994.0011183x003400050002x>
- Ramtekey, V., Cherukuri, S., Modha, K. G., Kumar, A., Kethineni, U. B., Pal, G., Singh, A. N., & Kumar, S. (2021). Extraction, characterization, quantification, and application of volatile aromatic compounds from Asian rice cultivars. *Reviews in Analytical Chemistry*: 2021(1), 272-292. <https://doi.org/10.1515/revac-2021-0137>
- Shan, Q., Zhang, Y., Chen, K., Zhang, K., & Gao, C. (2015). Creation of fragrant rice by targeted knockout of the Os BADH 2 gene using TALEN technology. *Plant biotechnology journal*, 13(6): 791-800. <https://doi.org/10.1111/pbi.12312>
- Sood, B. C., Siddiq, E. A., & Zaman, F. U. (1983). Genetic analysis of kernel elongation in rice. *Indian Journal of Genetics & Plant Breeding*, 43(1): 40-43.
- Srisedadka, T., Wongpornchai, S., & Kitsawatpaiboon, P. (2006). Rapid method for quantitative analysis of the aroma impact compound, 2-acetyl-1-pyrroline, in fragrant rice using automated headspace gas chromatography. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(21): 8183-8189. <https://doi.org/10.1021/jf0614490>
- Sun, S. X., Gao, F. Y., Lu, X. J., Wu, X. J., Wang, X. D., Ren, G. J., & Luo, H. (2008). Genetic analysis and gene fine mapping of aroma in rice (*Oryza sativa* L. Cyperales, Poaceae). *Genetics and Molecular Biology*, 31, 532-538. <https://doi.org/10.1590/s1415-47572008000300021>
- Temnykh, S., Park, W. D., Ayres, N., Cartinhour, S., Hauck, N., Lipovich, L., Cho, Y. G., Ishii, T., & McCouch, S. R. (2000). Mapping and genome organization of microsatellite sequences in rice (*Oryza sativa* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, 100(5): 697-712. <https://doi.org/10.1007/s001220051342>
- Veerabhadraswamy, M., Sindhumole, P., Mathew, D., Shylaja, M. R., Joseph, J., Augustine, R., & James, D. (2022). Molecular analysis of aroma gene (BADH2) in Biriyanicheera: a tropical aromatic rice genotype from Kerala, India. *Molecular Biology Reports*, 49(4): 3149-3155. <https://doi.org/10.1007/s11033-022-07146-1>
- Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2020). A paradigm of volatile aroma compounds in rice and their product with extraction and identification methods: A comprehensive review. *Food Research International*, 130, 108924. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108924>
- Verma, D. K., & Srivastav, P. P. (2018). Introduction to rice aroma, flavor, and fragrance. *Science and technology of Aroma, Flavour and Fragrance in Rice*. In: Verma, D.K., Srivastav, P.P. (eds). Apple Academic Press, USA, pp 3-34. <https://doi.org/10.1201/b22468-10>
- Yuga, M. E., Kimani, P. M., Kimani, J. M., & Muthomi, J. W. (2018). Screening upland rice genotypes for grain yield and grain quality in Kenya. *Journal of Agriculture*, 5(7): 1-15.
- Zhao, G. C., Xie, M. X., Yu, F. Y., Hu, D. M., Zhang, T., & Li, J. Y. (2017). Development of a new fragrant and good eating quality rice variety with stripe virus disease resistance by molecular marker-assisted gene pyramiding. *Indian journal of genetics and plant breeding*, 77(02): 221-227. <https://doi.org/10.5958/0975-6906.2017.00029.3>



## Trans-stadial effects and larvicidal potential of jatropha (*Jatropha curcas*) and castor (*Ricinus communis*) oils on *Spodoptera frugiperda* in laboratory

Moret Burnier Sènalèkokpon Adikpèto<sup>1</sup>\*, Tchormi Ghislain Tèpa-Yotto<sup>1</sup>, Borghéro Tarnos Ahouagbé Dahouéto<sup>1</sup>, Monique Georgina Akpo<sup>1</sup>, Elodie Hounmakou, Ghislain Tognignan<sup>1</sup>, Djèlili Olaniyan Fadélé<sup>1</sup>, Sètonji Arnorick Dossou<sup>1</sup>, Eugène Mahouminvo Donvidé<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire des Sciences Végétale, Horticole et Forestière (LasVHF), Université Nationale d'Agriculture (UNA), BP 43 Kétou, République du Bénin

### RESUME

Over the past decade, outbreaks of the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) have had devastating impacts on agriculture in Africa.

This study aimed to evaluate the insecticidal properties of jatropha and castor oils on *S. frugiperda*. The oils were specifically applied to eggs and tested for egg hatching, subsequent larval mortality, and pupae emergence. Thus, two bioassays were conducted in the laboratory. On one hand, the trans-stadial effect of insecticidal oil application on fall armyworm eggs was measured. On the other hand, direct application effect of the oils on fall armyworm's second instar larvae was determined. Four treatments (T1-4) were used for each assay in a complete randomized block design: T1: Water; T2: Water + Omo (laundry detergent); T3: Jatropha oil (1.25% v/v), and T4: Castor oil (1.25% v/v). For the trans-stage effect bioassay, batches of 10 eggs were sprayed with 1 mL of the treatment using a micropipette. The experimental eggs were monitored to the pupal stage, to calculate egg hatching, larval mortality, and pupation rate. On the direct insecticidal oil effect bioassay, batches of 10 second instar individuals were sprayed with 2.5 mL of each treatment. The larval mortality was recorded. The results showed that castor and jatropha oils had a trans-stage effect, resulting in significant larval mortality ( $df = 3$ ,  $p < 0.01$ ) and reduced pupation rate ( $df = 3$ ,  $p < 0.01$ ). Unexpectedly, larval mortality in the trans-stage assay was higher than that obtained by direct application of biopesticides on the larvae. This study suggests that an application of the jatropha or castor oils on the fall armyworm's egg stage is associated with high larvicidal effect.

**Keywords:** invasive species, insecticidal plant, early stage control, sustainable management.

Corresponding author: Moret Burnier Sènalèkokpon Adikpèto,

Received in May 2025 and accepted in august 2025

E-mail address: [adikpetomoret@yahoo.fr](mailto:adikpetomoret@yahoo.fr)

### 1. Introduction

Since its initial detection in sub-Saharan Africa in early 2016, the fall armyworm (*Spodoptera frugiperda* J.E. Smith), an invasive pest native to the tropical and subtropical regions of the Americas, has rapidly established itself as one of the most serious agricultural threats on the continent (Goergen et al., 2016).

The pest has a broad host range, with maize being its prime host. It caused a particularly devastating impact on maize production (Acharya et al., 2020; Overton et al., 2021; Kenis et al., 2022). As a consequence, this directly threatened food security and livelihoods across the region (Mlambo et al., 2024).

Therefore, the development and implementation of sustainable management strategies for the fall armyworm has received high priority across countries. Plant-based biopesticides remain one of the candidate options that are environmentally sound and accessible (Ekenwosu et al. 2021). They are affordable and largely accepted in the context of smallholder farmers. However, their efficacy to control fall armyworm is still uncertain. Among these, oils extracted from seeds of *Jatropha curcas* (jatropha) and *Ricinus communis* (castor) have exhibited insecticidal properties against a range of insect pests (Rioba et al., 2020; Fareed et al., 2024). Nevertheless, a significant gap exists in our understanding of

their full potential against *S. frugiperda*. The majority of previous studies have focused on the direct effects of these oils on larval stages and nymphs at adulthood. To the best of our knowledge and on consulted literature, none of them have explored the potential trans-stadial effects of the insecticidal plant oils. Understanding these trans-stage effects is crucial for developing comprehensive and effective pest management strategies. Therefore, this study aimed at evaluating the insecticidal properties of jatropha and castor oils on *S. frugiperda*. The oils were specifically applied to eggs and tested for egg hatching, subsequent larval mortality, and pupae emergence. Furthermore, we examined larval mortality upon direct oil application on FAW larvae.

We hypothesized that early egg exposure to these plant oils disrupts the growth of the developing embryo, thereby affecting post-hatching survival and larval development. To test this hypothesis, we conducted two distinct bioassays. On one hand, the trans-stage effect of insecticidal oil application on fall armyworm eggs was measured. On the other hand, direct application effect of the oils on fall armyworm's second instar larvae was determined.

This research seeks to provide new insights on the overall insecticidal efficacy of jatropha and castor oils under an integrated FAW management framework.

## 2. Materials and Methods

### 2.1. Experimental conditions

The study was carried out at the Plant Health Science Platform (PHSP) hosted by the Unité de Recherche en Phytotechnie et Santé des Plantes (URPSP), under the Laboratoire des Agrosystèmes et Paysages Durables (LAPaD) of the Université Nationale d'Agriculture (UNA, Akpotokou campus). The experimental conditions in the laboratory fluctuated between 26 and 28 °C, between 65 and 70% relative humidity, and under a 12-hour light and 12-hour dark photoperiod regime.

### 2.2. Experimental insect and insecticidal plants

#### 2.2.1. *Spodoptera frugiperda* eggs and larvae

The laboratory insect colony was established using parent fall armyworm larvae collected in maize fields in Akpotokou. Routine insect rearing protocol consisted of screening and breeding the collected larvae to pupal stage. The pupae were disinfected with 0.5% bleach and placed in plastic boxes (17 cm diameter and 9.5 cm height). Adults of *S. frugiperda* emerging from these pupae were fed with 10% honey solution and were monitored daily until death. The eggs laid by females were collected from oviposition boxes after mating experience. The eggs were incubated, and the hatched neonates continued the larval cycle, differentiating into six instars for a duration of 14 to 21 days. The larvae were fed with fresh leaves of sprouting maize. The experimental eggs and larvae used in the bioassays belonged to cohorts of the second generation (F2).

#### 2.2.2. Insecticidal plant oils

Jatropha and castor oils used in the experiments were purchased from BioPhyto, an accredited biopesticide supplier in Allada (southern Benin).

#### 2.2.3. Treatments and experimental procedure

For each oil, a 1.25% (v/v) aqueous solution was prepared by mixing 1.25 mL of *Jatropha curcas* or *Ricinus communis* oil with 0.2 g of Omo Klin detergent in 100 mL of water. The concentration 1.250% (v/v) is an equivalent dose of 2 l/ha of biopesticide, considering the manufacturer's recommendations. Omo Klin was chosen for its accessibility and low toxicity to CLA larvae compared to other adjuvants commonly used in Benin (Aniwanou et al., 2021). The 0.2 g of Omo Klin used was enough to mix the oils in the water. Four treatments (T) were used per bioassay in a complete randomized block design: T1: Water; T2: Water + Omo; T3: Jatropha oil; and T4: Castor oil. The treatments were applied to *Spodoptera frugiperda* eggs and second instar larvae. For the egg bioassay, batches of 10 eggs were sprayed with 1 mL of the oils using a micropipette. Treated eggs were placed in Petri dishes on a layer of absorbent paper. Larval bioassay consisted of batches of 10 individuals sprayed with 2.5 mL of each treatment. The experimental larvae were fed on fresh untreated leaves of sprouting maize. Ten replicates were organized for each of the two bioassays.

#### 2.2.4. Data collection

The number of neonates hatching from experimental eggs was counted daily for five days to compute the hatching rate using the formula:

$$\text{Hatching rate (\%)} = \frac{\text{Number of neonate}}{\text{Total number of eggs treated}} \times 100$$

The neonates were followed to the pupal stage, and larval mortality and pupation rate were calculated using the formulas:

$$\text{Larval mortality (\%)} = \frac{\text{Number of dead larvae}}{\text{Total number of larvae treated}} \times 100$$

$$\text{Pupation rate (\%)} = \frac{\text{Number of pupae formed}}{\text{Total number of larvae treated}} \times 100$$

Regarding the bioassay on the direct application of oils to the larvae, larval mortality was recorded daily over six days using the method described by Ammar et al. (2025). A larva was considered dead if it exhibited no response or was unable to ambulate when stimulated with a fine brush (Lourenço et al., 2018). The mortality rate was calculated using the same above-described formula:

$$\text{Larval mortality (\%)} = \frac{\text{Number of dead larvae}}{\text{Total number of larvae treated}} \times 100$$

#### 2.2.5. Statistical analysis

The analysis of variance (ANOVA) was performed to assess the effect of treatments on egg hatching rate, larval mortality, and pupation rate. The Tukey's Honest Significant Difference (HSD) test was used to compare means at the 5% significance level. All statistical analyses were carried out using R software (version 4.4.0).

## 3. Results

### 3.1. Trans-stadial effect of castor and jatropha oils application on fall armyworm eggs

#### 3.1.1. Egg hatching

Figure 1 shows the fluctuation of egg hatching rate over the five days of observation. Less than 25% of the eggs hatched during the first two days after the application of the treatments. However, this rate increased significantly for all treatments at 3 days post-oil application, reaching 100% for the jatropha oil-treated eggs (Fig. 1). At the end of the observation period, i.e., 5 days after application, 100% egg hatching was attained in the eggs treated with Jatropha oil and Water (T3 and T1). The egg hatching was lower in the Water + Omo (T2) and Castor oil (T4) treatments, with rates of  $98 \pm 2$  and  $96 \pm 2.2\%$ , respectively. However, there was no significant egg hatching difference between treatments ( $df = 3$ ,  $p = 0.195$ ).

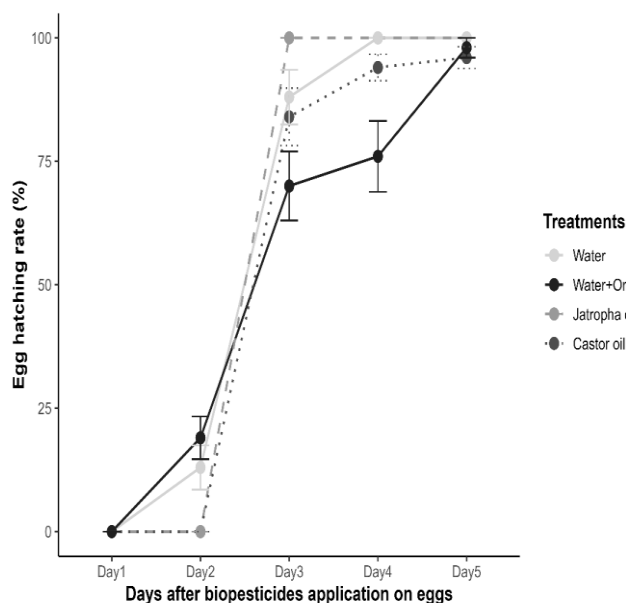


Figure1: Temporal evolution of egg hatching rate

### 3.1.2. Larval Mortality

The results showed that treatments had a significant effect on larval mortality from treated eggs ( $df = 3$ ,  $p < 0.01$ ). The larval mortality rates in the Water + Omo (T2) and Castor oil (T4) treatments were not significantly different from those in the Water (T1) treatment, but the mortality rate in the Jatropha oil (T3) treatment was significantly higher than T1 (Fig. 2). The Jatropha oil (T3) treatment caused the highest larval mortality rate.

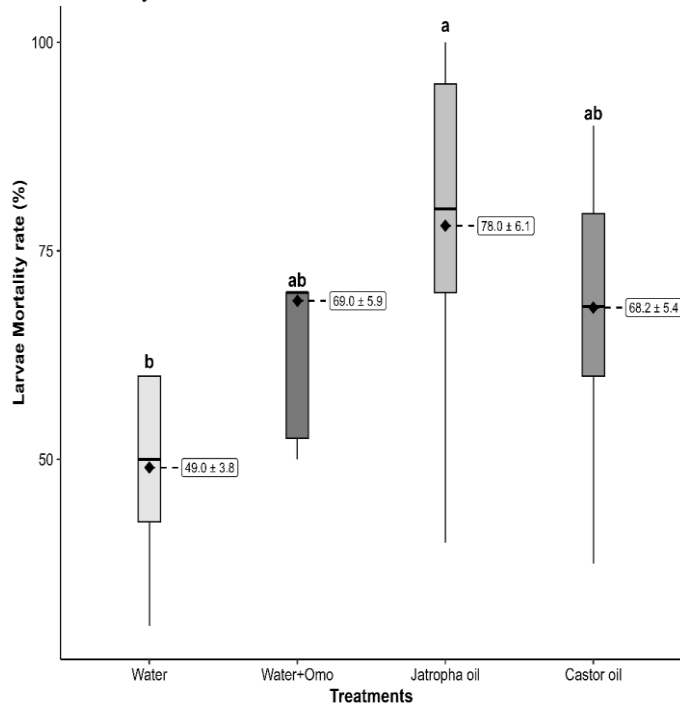


Figure2 : Larvae mortality rate per treatment

### 3.1.3. Pupation rate

Treatments had a significant effect on the pupation rate ( $df = 3$ ,  $p < 0.01$ ). The first pupae were observed 19 days after oil application on eggs for the Water (T1), Water + Omo (T2), and Castor oil (T4) treatments (Fig. 3). At the end of pupation formation, pupation rates

ranged from  $22 \pm 6.1\%$  (T3, Jatropha oil) to  $51 \pm 3.8\%$  (T1, Water). The pupation rate obtained with Jatropha oil (T3) was significantly lower than that obtained with the Water treatment (T1) (Fig. 4). The pupation rate on the Water + Omo (T2) treatment was not significantly different from that on the Water (T1) treatment. Jatropha oil was more effective than castor oil.

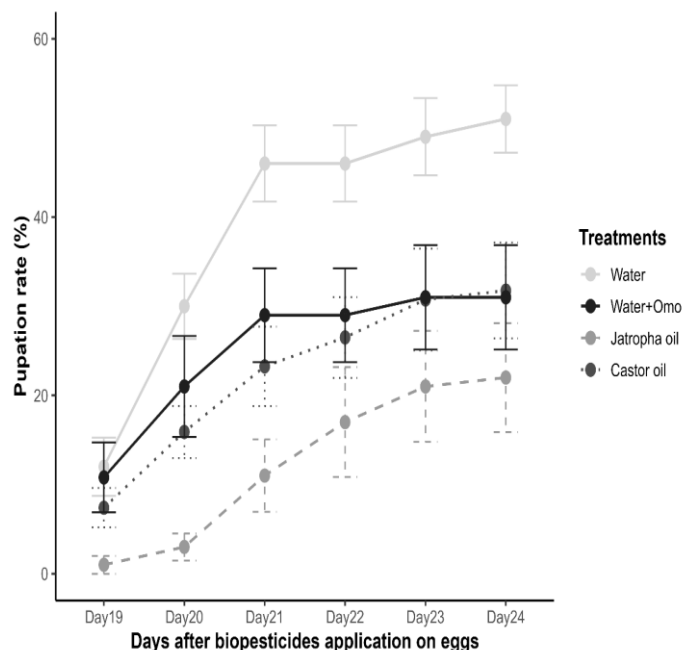


Figure3 : Temporal pupation

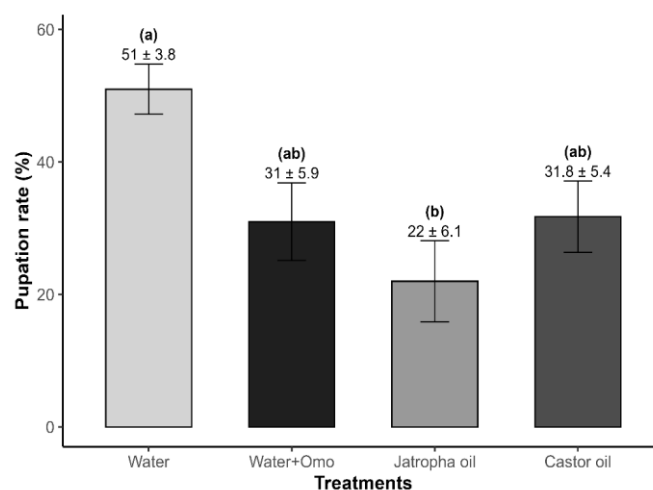


Figure4 : Final Pupation rate per treatment

### 3.2. Direct effect of castor and jatropha oils on FAW larvae

Figure 5 shows larval mortality rates after biopesticide application. The treatments had a significant effect on larval mortality ( $df = 3$ ,  $p < 0.05$ ). Larval mortality ranged from  $14 \pm 1.1$  (T1, Water) to  $25 \pm 1.2\%$  (T3, Jatropha oil). Larval mortality on Jatropha oil (T3) was significantly higher than on the two controls (T1 and T2). The larval mortality rate obtained with Castor oil (T4) was not significantly different from that of the controls (T1 and T2). Jatropha oil (T3) was therefore the treatment with the highest larval mortality rate.

Figure 6 compares larval mortality when biopesticides are applied to eggs and when they are applied directly to larvae. This figure shows that there is a significant difference between these two insecticidal oil

application methods, and for any of the treatments considered (T3 and T4). The mortality of larvae from eggs treated with biopesticides was significantly higher than that obtained when the biopesticides were applied directly to the larvae (Figure 6).

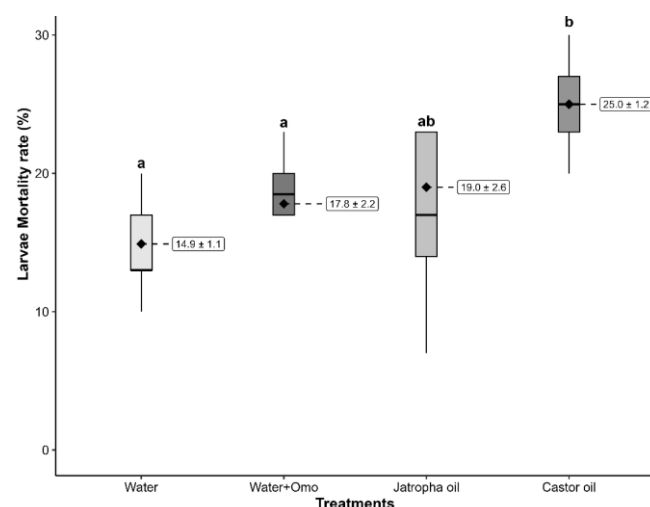
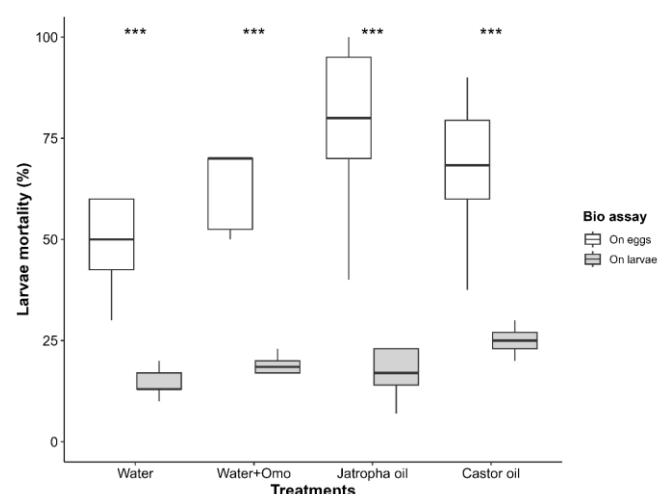


Figure 5 : Larvae mortality rate per treatment



p value < 0.001 ~ "\*\*\*", p value < 0.01 ~ "\*\*", p value < 0.05 ~ "\*", p > 0.05 "ns"

Figure 6 : Comparison of larvae mortality (bioassay 1 and bioassay 2)

#### 4. Discussion

The present study evaluated the trans-stadial effect of jatropha and castor oil application on fall armyworm (FAW) eggs. We compared the larval mortality obtained on the trans-stage effect experiment with that obtained by direct application of the biopesticides to FAW larvae. The results showed that castor and jatropha oils had a trans-stage effect, resulting in larval mortality and reduced pupation rate. Also, larval mortality in the trans-stage assay was higher than that obtained by direct application of biopesticides on the larvae.

Indeed, jatropha and castor oils did not inhibit the hatching of fall armyworm eggs. This suggests that the compounds in these two oils do not directly alter the embryonic viability of fall armyworm eggs. However, this may be due to the concentration used (1.5%), as studies by Komi et al. (2009) showed a concentration-dependent ovicidal effect of jatropha oil on the eggs of another maize lepidopteran pest, *Mussidia*

*nigrivenella*. Using concentrations of 2.5%, 5%, 10 and 100%, these authors found a reduction in the hatching of the pest's eggs. Therefore, the concentration used in the present study may not be sufficient to kill the eggs and inhibit hatching.

A larval mortality from treated eggs was observed. This indicates a trans-stage effect, meaning that early exposure to the oils may affect the subsequent development of individuals. It can be concluded that the application of the active compounds of jatropha and castor oils to eggs resulted in metabolic disturbances after hatching.

Castor and jatropha oils induced a reduction in pupation rate. The pupation rate obtained on larvae from eggs treated with jatropha oil was lower. This showed that both jatropha oil and castor oil have an indirect effect on the pupae of *S. frugiperda*. Valdez-Ramírez et.al (2024) showed that jatropha extracts prolonged the pupation time of larvae and the weight of *S. frugiperda* pupae. Another study on the insecticidal effect of castor oil on *Spodoptera frugiperda* larvae in the laboratory showed that larvae treated with aqueous castor seed extract had a slightly longer development time and lower pupal viability, as well as certain morphological discontinuities in adults and pupae (Kombieni et al., 2023). These findings suggest that both oils may interfere with the normal metamorphosis of *S. frugiperda*, potentially through physiological disruptions during larval development.

The results showed that jatropha oil and castor oil have a significant effect on larval mortality in direct application. This is not new and corroborates with previous studies on *Spodoptera frugiperda*, *Spodoptera littoralis*, and *Bemisia tabaci* (Ali & Ibrahim, 2018; de Almeida Marques et al., 2014; Devappa et al., 2012). The larvicidal effect of the oils could be attributed to the presence of bioactive compounds, including saponins, flavonoids, diterpenes, and phorbol esters. These substances act by ingestion or contact, disrupting the digestive system or causing dehydration, thus contributing to insect control (Devappa et al., 2010; Rossi et al., 2012). The mortality obtained was, however, relatively low, suggesting an increase in dose for future studies.

Larval mortality rates were higher in the trans-stage assay than in direct application. This difference suggests a potential residual or transovarial effect of the oils that may affect post-embryonic development of exposed individuals from the egg stage. Such early action may affect larval growth as soon as they hatch by increasing their sensitivity and vulnerability. An application of the oils from the egg stage is worth exploratory further to maximize the larvicidal efficacy of jatropha and castor oils.

The two bioassays carried out in the present study suggest that the two jatropha and castor oils tested have insecticidal properties against the fall armyworm. Nevertheless, it would be interesting to study the mode of action of these oils to better understand the mechanism underlying the findings on the egg-larval trans-stage effect. This will bring more insights on the significant difference observed between the mortality of larvae from eggs treated with the oils and that obtained by direct application on the larvae.

#### 5. Conclusion

This study evaluated the trans-stadial effect of jatropha and castor oils applied to *Spodoptera frugiperda* eggs. The application method was compared to direct application to larvae. The oils were not ovicidal, but

they significantly killed the larvae after egg hatching. The findings need to be further investigated. More studies may also test different concentrations for enhanced optimization and understanding the mode of action of the active compounds. This work consolidates opportunities for affordable locally accessible biopesticide alternatives for a sustainable integrated management of fall armyworm in small-scale farms.

## References

- Aniwanou, C.T.S., Sinzogan, A.A.C., Deguenon, J.M., Sikirou, R., Stewart, D. A., Ahanchede A. (2021).  
Bio-Efficacy of Diatomaceous Earth, Household Soaps, and Neem Oil against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera:Noctuidae) Larvae in Benin. *Insects* 12(18):1-18. <https://doi.org/10.3390/insects12010018>
- Ammar, R.S., Gad, M.E., Zeb, J., [Selim](#), A., Gattan, H.S., Alruhaili, M.H., Baz, M.M., Senbill, H.(2025).  
Insecticidal activity of *Delonix regia* (Fabaceae) against the cotton leafworm, *Spodoptera littoralis* (Bois) with reference to its phytochemical composition. *Scientific Reports* 15, 6286 . <https://doi.org/10.1038/s41598-025-88547-7>
- Acharya, S., Kaphle, S., Upadhayay, J., Pokhrel, A., & Paudel, S. (2020). Damaging nature of fall armyworm and its management practices in maize: A review. *Tropical Agrobiodiversity*, 1(2), 1-17.
- Ali, A. M., & Ibrahim, A. M. (2018).  
Castor and camphor essential oils alter hemocyte populations and induce biochemical changes in larvae of *Spodoptera littoralis* (Boisduval) (Lepidoptera: Noctuidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 631–637.
- de Almeida Marques, M., Quintela, E. D., Mascarin, G. M., Fernandes, P. M., & Arthurs, S. P. (2014).  
Management of Bemisia tabaci biotype B with botanical and mineral oils. *Crop Protection*, 66, 127–132.
- Devappa, R. K., Angulo-Escalante, M. A., Makkar, H. P., & Becker, K. (2012).  
Potential of using phorbol esters as an insecticide against *Spodoptera frugiperda*. *Industrial Crops and Products*, 38, 50–53.
- Devappa, R. K., Makkar, H. P., & Becker, K. (2010).  
Jatropha toxicity—A review. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 13(6), 476–507.
- Ekenwosu, J. U., Okorie, P. U., & Ikpeama, C. (2021).  
a Review of Biopesticide Products As Ecological Alternative Against Fall Armyworm (*Spodoptera Frugiperda*) in Africa. *Open Journal of Bioscience Research (ISSN: 2734-2069)*, 2(2), 26-35.
- Fareed, M. A., Bashir, S., Ali, A., Imdad, M., Ali, A. N., Tatar, M., ... & Shafique, T. (2024).  
Comprehensive strategies for the integrated management of fall armyworm: a focus on biocontrol, cultural, and chemical methods. *Düzce Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 2(2), 95-114.
- Goergen, G., Kumar, P. L., Sankung, S. B., Togola, A., & Tamò, M. (2016).  
First report of outbreaks of the fall armyworm *Spodoptera frugiperda* (JE Smith) (Lepidoptera, Noctuidae), a new alien invasive pest in West and Central Africa. *PloS one*, 11(10), e0165632.
- Kenis, M., Benelli, G., Biondi, A., Calatayud, P. A., Day, R., Desneux, N., ... & Wu, K. (2022).  
Invasiveness, biology, ecology, and management of the fall armyworm, *Spodoptera frugiperda*.
- Kombieni, E., Tchabi, A., Sourassou, N. F., Nadio, A. N., Djiwa, O., Banito, A., ... & Sanda, K. (2023).  
Insecticidal activity of Ricinus communis L. seed extract against *Spodoptera frugiperda* JE Smith under laboratory and field conditions. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 17(3), 760-772.
- Komi A., Agbodzavu K.M., Manuele T., Stefan Vidal. (2009).  
Effects of plant extracts and oil emulsions on the maize cob borer *Mussidia nigrivenella* (Lepidoptera: Pyralidae) in laboratory and field experiments. *International Journal of Tropical Insect Science* Vol. 29, No. 4, pp. 185–194.
- Lourenço, A.M., Haddi, K., Ribeiro, B.M. *et al.*  
Essential oil of *Siparuna guianensis* as an alternative tool for improved lepidopteran control and resistance management practices. *Sci Rep* 8, 7215. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25721-0>. (2018)
- Mlambo, S., Mubayiwa, M., Tarusikirwa, V. L., Machekano, H., Mvumi, B. M., & Nyamukondiwa, C. (2024).  
The fall armyworm and larger grain borer Pest invasions in Africa: drivers, impacts and implications for food systems. *Biology*, 13(3), 160.
- Overton, K., Maino, J. L., Day, R., Umina, P. A., Bett, B., Carnovale, D., ... & Reynolds, O. L. (2021).  
Global crop impacts, yield losses, and action thresholds for fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*): A review. *Crop Protection*, 145, 105641.
- Rioba, N. B., & Stevenson, P. C. (2020).  
Opportunities and scope for botanical extracts and products for the management of fall armyworm (*Spodoptera frugiperda*) for smallholders in Africa. *Plants*, 9(2), 207.
- Rossi, G., Santos, C., Carvalho, G., Alves, D., Pereira, L., & Carvalho, G. (2012).  
Biochemical analysis of a castor bean leaf extract and its insecticidal effects against *Spodoptera frugiperda* (Smith) (Lepidoptera: Noctuidae). *Neotropical Entomology*, 41, 503–509.
- Valdez-Ramírez, A., Ramos-Lopèz, M. Á., Flores-Macías, A., Vargas-Cardoso, O. R., Castañeda-Espinoza, J. D., & Figueroa-Brito, R. (2024).  
Bioactivity of seed extracts from different genotypes of *Jatropha curcas* (Euphorbiaceae) against *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae). *Florida Entomologist*, 107(1), 20240045.



**UNIVERSITE NATIONALE D'AGRICULTURE**



<https://stsa.una.bj/index.php/st>