

INSUFFISANCE DES AMENAGEMENTS HYDROAGRIQUES ET DEREGLEMENTS CLIMATIQUES : QUELLES PERSPECTIVES POUR UNE AGRICULTURE DURABLE AU BENIN ?

MAKPONSE Makpondéou

Résumé

L'agriculture constitue la base de l'économie béninoise. Essentiellement pluviale, elle fait du Bénin depuis 2016, le premier producteur africain de coton et assure à la population une autosuffisance alimentaire. Les dérèglements climatiques constituent pour elle une sérieuse contrainte majeure qui impacte négativement la production agricole et la sécurité alimentaire à cause de la non maîtrise de l'eau. L'insuffisance des aménagements hydroagricoles est le principal handicap au développement agricole. Cette recherche vise à analyser les problèmes agricoles liés à l'eau et les opportunités qu'offrent les aménagements hydroagricoles pour la durabilité de l'agriculture béninoise.

L'approche méthodologique adoptée est axée sur une recherche documentaire, les enquêtes de terrain, le traitement des données et l'analyse des résultats. Le matériel utilisé pour la collecte des données est composé d'un GPS (Global Positioning System), d'une Station totale, d'un appareil photographique, d'un smartphone. Un échantillon de 325 personnes, représentatif de la population a été constitué à l'aide de la méthode statistique de D. Schwartz et du choix raisonné sur quota. Un guide d'entretien et un questionnaire ont permis respectivement d'interroger les personnes ressources et les autres membres de l'échantillon. Une grille a servi à observer en milieu réel.

Les recherches ont révélé que les dérèglements climatiques sont à l'origine de 38.7 % des stress et maladies des producteurs agricoles et réduisent la production annuelle entre 60.1 à 85.2%. Malgré un potentiel hydroagricole important, seulement 0.4% des terres cultivées sont irriguées. Des aménagements hydroagricoles respectueux de l'environnement, constituent des atouts importants pour la durabilité agricole au Bénin.

Mots clés : Bénin - Aménagements hydroagricoles - Dérèglements climatiques – Irrigation - Agriculture durable

Abstract

Agriculture is the basis of the Beninese economy. Essentially rain-fed, since 2016 it has made Benin the leading African cotton producer and ensures food self-sufficiency for the population. Climate change is a serious constraint for it, which has a negative impact on agricultural production and food security because of the lack of water control. The lack of hydro-agricultural facilities is the main handicap to agricultural development. This research aims to analyze the agricultural problems related to water and the opportunities offered by hydro-agricultural developments for the sustainability of Beninese agriculture.

The methodological approach adopted is based on documentary research, field surveys, data processing and analysis of the results. The equipment used for data collection consists of a GPS (Global Positioning System), a Total Station, a camera, a smartphone. A sample of 325 people, representative of the population, was formed using the statistical method of D. Schwartz and reasoned choice on quota. An interview guide and a questionnaire respectively made it possible to question the resource persons and the other members of the sample. A grid was used to observe in real environment.

Research has revealed that climatic disturbances are the cause of 38.7% of the stress and illnesses of agricultural producers and reduce annual production between 60.1 and 85.2%. Despite significant hydro-agricultural potential, only 0.4% of cultivated land is irrigated. Hydro-agricultural developments that respect the environment are important assets for agricultural sustainability in Benin.

Keywords : Bénin - Irrigation schemes - Climate change - Irrigation - Sustainable agriculture

Introduction

Le réchauffement climatique menace tous les pays du monde. En effet, « Un réchauffement d'à peine 2°C par rapport à la période préindustrielle suffirait à provoquer des perturbations climatiques aux conséquences planétaires. L'intensification de la variabilité du climat, la multiplication et l'intensification de phénomènes météorologiques extrêmes et l'exposition accrue des zones côtières aux marées de tempête pourraient accroître fortement le risque d'impacts climatiques catastrophiques et irréversibles. Entre 100 millions et 400 millions de personnes supplémentaires pourraient souffrir de faim (W. Easterling et *al.*, 2007, p. 299), et « entre un à deux milliards d'individus de plus pourraient ne plus avoir assez d'eau pour satisfaire à leurs besoins » (M. L. Parry et *al.*, 2007, p. 66). Les pays en développement sont plus vulnérables et moins résistants aux risques climatiques. Un réchauffement de 2°C pourrait entraîner une baisse permanente de 4 à 5 % du revenu annuel par habitant en Afrique et en Asie du sud « W. Nordhaus et J. Boyer, 2000, p. 56), alors qu'il en « résulterait des pertes minimales dans les pays à revenu élevé et une contraction moyenne de l'ordre de 1% du PIB mondial » (W. Nordhaus, 2008, p. 123). Dans les pays en voie de développement, l'agriculture est contrairement dans les pays développés essentiellement pluviale, d'où sa grande vulnérabilité face aux dérèglements climatiques. Des interactions existent certainement entre le réchauffement climatique et l'agriculture. D'après le rapport 2014 du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) sur l'atténuation des changements climatiques, l'agriculture est l'une des causes du bouleversement climatique ; elle est en effet responsable de près d'un quart des émissions mondiales de gaz à effet de serre lorsque l'on prend en compte la déforestation ; elle y participe grandement à travers deux gaz moins connus que le CO₂ : le méthane, un gaz au pouvoir de réchauffement 28 fois plus élevé que celui du CO₂ et qui serait responsable d'environ 20 % de l'accroissement de la température (+ 1 °C) observé au cours du siècle, il est émis par les ruminants, mais aussi par certaines techniques de riziculture ; le protoxyde d'azote, lié à l'utilisation d'engrais azotés ; à ces émissions s'ajoutent celles liées à la déforestation, puisque celle-ci est très souvent motivée par la conversion de zones forestières en terres agricoles qui servent à produire l'alimentation du bétail ou à le faire pâturer ; or la déforestation est à l'origine de 17 % des émissions mondiales de GES ; l'agriculture et la déforestation sont ainsi responsables d'un quart des émissions mondiales de GES (24 % plus précisément). Le réchauffement climatique a généralement des répercussions négatives sur l'agriculture. Le climat est un élément déterminant de l'activité agricole et influence cette dernière par deux facteurs limitants qui sont la température et l'eau caractérisées par la durée, l'intensité et la variabilité. En effet, « La lumière diffuse donne une végétation grêle, vert pâle ; le poids de la matière sèche est inférieur de 60 % à celui obtenu en pleine lumière ; elle réduit l'absorption de l'azote, limite la production des racines et modifie le rapport C/N dans la plante (A. Angladette, 1966, p. 219). L'agriculture en général et celle pluviale en particulier est vulnérable aux dérèglements climatiques. Depuis les années 1970, l'Afrique de

l'ouest est soumise à des dérèglements climatiques qui contribuent à l'insécurité alimentaire, à l'aggravation de la pauvreté et la multiplication des actes criminels (insécurité humaine). Les pays en développement des latitudes tropicales connaissent une grande variabilité climatique, comme le régime de mousson en Inde et en Afrique de l'Ouest ou encore l'influence des événements El Niño sur le continent américain (A. Challinor et al., 2003, p.385), et dans bien des cas leur pauvreté endémique augmente le risque et la gravité des catastrophes naturelles (PNUD, 2004, p. 25). Les aléas climatiques sont caractérisés par de fortes températures et humidités, de vents violents, des années extrêmement sèches et d'autres très humides, des sécheresses, des irrégularités de pluies et des inondations. Le GIEC a prévu dans son rapport de 2021, une augmentation de la température partout dans le monde, de la fréquence et de l'intensité des aléas météorologiques majeurs comme les sécheresses et considère l'Afrique comme le continent le plus vulnérable aux dérèglements climatiques. « La température à la surface du globe continuera à augmenter au moins jusqu'au milieu de ce siècle, dans tous les scénarios d'émissions considérés. Un réchauffement planétaire de 1,5 °C et 2 °C sera dépassé au cours du 21e siècle, sauf si des réductions importantes des émissions de CO2 et d'autres gaz à effet de serre ont lieu au cours des prochaines décennies » (GIEC, 2021, p. 15)

Pays en voie de développement, l'économie de la république du Bénin est essentiellement basée sur les activités rurales dont la plus importante est l'agriculture. Cette agriculture joue un rôle important dans l'économie béninoise puisqu'elle représente 32% du PIB et emploie 55, 43% de la population active (INSAE, 2013, p. 2). Sur une superficie totale du pays de 11,47Mha, les terres cultivables représentent 2, 6Mha (FAO, 2012, p. 13). Au Bénin, cette activité économique est essentiellement pluviale. Son essor dépend donc du régime pluviométrique d'où sa vulnérabilité face aux dérèglements climatiques en l'occurrence les sécheresses et les irrégularités des pluies. En Afrique en général et au Bénin en particulier, les activités rurales sont les plus touchées, car une modification de l'intensité et/ou du régime des précipitations affectera les systèmes agricoles et pastoraux en Afrique subsaharienne (CGIAR, 2009, p. 15). Les aménagements hydroagricoles sont rares voire inexistantes dans les pays en voie de développement en général et particulièrement au Bénin. En effet, selon J-M. Faurès et M. Sonou (1990, p. 2), « L'irrigation dans le monde couvrait en 1998 272 millions d'hectares, soit environ 18% des terres cultivées. En Afrique, seuls 12,5 millions d'hectares sont irrigués sur un total de 202 millions de terres cultivées, soit 6,2%. La proportion de terres irriguées en Afrique au sud du Sahara est encore plus réduite, puisque seuls 5,2 millions d'hectares, soit 3,3% des terres cultivées sont irrigués ». Les aménagements hydroagricoles ont pour but principal de combler les déficits hydriques cultures en cas de sécheresses ou d'irrégularités des pluies. Pour ce faire, les eaux de surface notamment des périodes de fortes précipitations et celles des nappes phréatiques sont à retenir et à exploiter judicieusement. Les besoins en eau des cultures sont variables avec la demande climatique et le stade de développement de la plante. L'excès d'eau dans le sol est nuisible aux cultures. En effet, des inondations détruisent des champs de cultures et des récoltes ; en plus le manque ou la rareté d'eau associé à l'utilisation d'outils rudimentaires, aux stress et maladies liés aux dérèglements climatiques contribuent à la faiblesse des rendements, à des mauvaises récoltes, à l'insécurité alimentaire et à l'aggravation de la pauvreté au Bénin. Les années au cours desquelles les vulnérabilités sont criardes, l'Etat est obligé de faire appel à des aides internationales. Les faibles moyens de l'agriculture pluviale pour anticiper et enrayer les effets des fluctuations climatiques s'illustrent par une forte dépendance de la productivité agricole aux aléas pluviométriques avec des conséquences sur la sécurité alimentaire. Depuis les années 1970, les plus grandes famines ayant nécessité un recours à l'aide alimentaire internationale (1974, 1984-1985, 1992 et 2002) sont entièrement ou en partie dues aux variations du climat

(M. Dilley *et al.*, 2005, p. 45). Face à ces difficultés, quelles stratégies ou résiliences à adopter par la population dans un contexte de dérèglements climatiques pour rendre l'agriculture béninoise durable ? Des aménagements hydroagricoles constituent des enjeux majeurs en termes de développement et de sécurité alimentaire au Bénin. Cette recherche a pour objectif d'analyser les problèmes agricoles liés à l'eau et les opportunités des aménagements hydroagricoles pour la durabilité de l'agriculture béninoise. Pour répondre aux préoccupations ci-dessus posées, une méthodologie a été adoptée et a permis d'aboutir à des résultats qui sont analysés et discutés

1 Approche méthodologique

La méthodologie adoptée a trois grandes étapes : la présentation du secteur de recherche, la collecte des données, le traitement et l'analyse des résultats.

1-1 Présentation du milieu d'étude

La république du Bénin est située entre 6°30' et 12°30' latitude nord et entre 1° et 3°40' longitude est. Pays de l'Afrique de l'Ouest et de la zone intertropicale, elle est limitée au nord par la république du Niger avec le fleuve Niger, au nord-ouest par le Burkina-Faso, au sud par l'océan Atlantique, à l'ouest par le Togo et à l'est par le Nigéria (figure 1).

Le Bénin a une superficie de 114763 km², s'étend du nord au sud sur 700 km. Il est large de 125 km le long de la côte et de 325 km à la latitude de Tanguéta-Ségbana (F. Médénouvo, 2012, p. 3). Le territoire du Bénin présente plusieurs types de relief : la plaine côtière, la plaine de la dépression de la Lama, les plaines alluviales du fleuve Niger et de la rivière Pendjari, les plateaux de terre de barre, le plateau cristallophyllien ou granito-gneissique, le plateau de grès de Kandi et la chaîne de l'Atacora. La plaine côtière est un complexe de plusieurs cordons littoraux séparés par des bas-fonds marécageux et des lagunes comme les lagunes de Porto-Novo de Ouidah et de Grand-Popo et les lacs Nokoué et Ahémé (K. S. Adam et M. Boko, 1983, p.13). Elle est basse, rectiligne, sablonneuse d'une largeur variant en moyenne entre 2 et 12 km. Son altitude varie entre 2 et 10 m et par endroits la nappe phréatique affleure le sol. Il s'agit d'une zone humide riche en espèces végétales et animales, favorable aux activités agricoles, cynégétiques, halieutiques, touristiques et culturelles. C'est le domaine de vertisols, de sols hydromorphes, de forêts décidues à feuilles caduques et semi-décidues, de savanes arborées et arbustives, de formations végétales marécageuses et de mangrove. Ces formations pédologiques et végétales se retrouvent aussi sur les plateaux de terre de barre aux sols ferrallitiques rouges, profonds et fertiles comme ceux de la plaine côtière. Argilo-sableux, les plateaux de terre de barre ont une altitude variant entre 20 et 200 m (F. Médénouvo, 2012, p. 25). Ils sont séparés par une dépression médiane appelée la dépression de la Lama au centre, la dépression de Tchi à l'ouest et la dépression d'Issaba à l'est. Cette dépression est une plaine. Les plateaux de terre de barre jouxtent la plaine côtière au nord. Les deux types de relief présentent à quelques différences près les mêmes paysages végétaux à l'exception de la mangrove qui est absente au centre et au nord des plateaux de terre de barre. Ils sont tous balayés par un climat subéquatorial ou béninien à deux saisons pluvieuses et deux sèches. Dans ce type de climat, les températures moyennes varient entre 25.4°C et 28.5°C. l'amplitude thermique annuelle est faible et inférieure à 5°C tandis que celle journalière est supérieure à 10°C avec une humidité qui varie entre 70 et 90% (S.K. Adam et Boko, 1983, p. 20). La pluviosité annuelle varie entre 900 et 1200 mm (N. Agoïnon, 2010, p.34). mm.

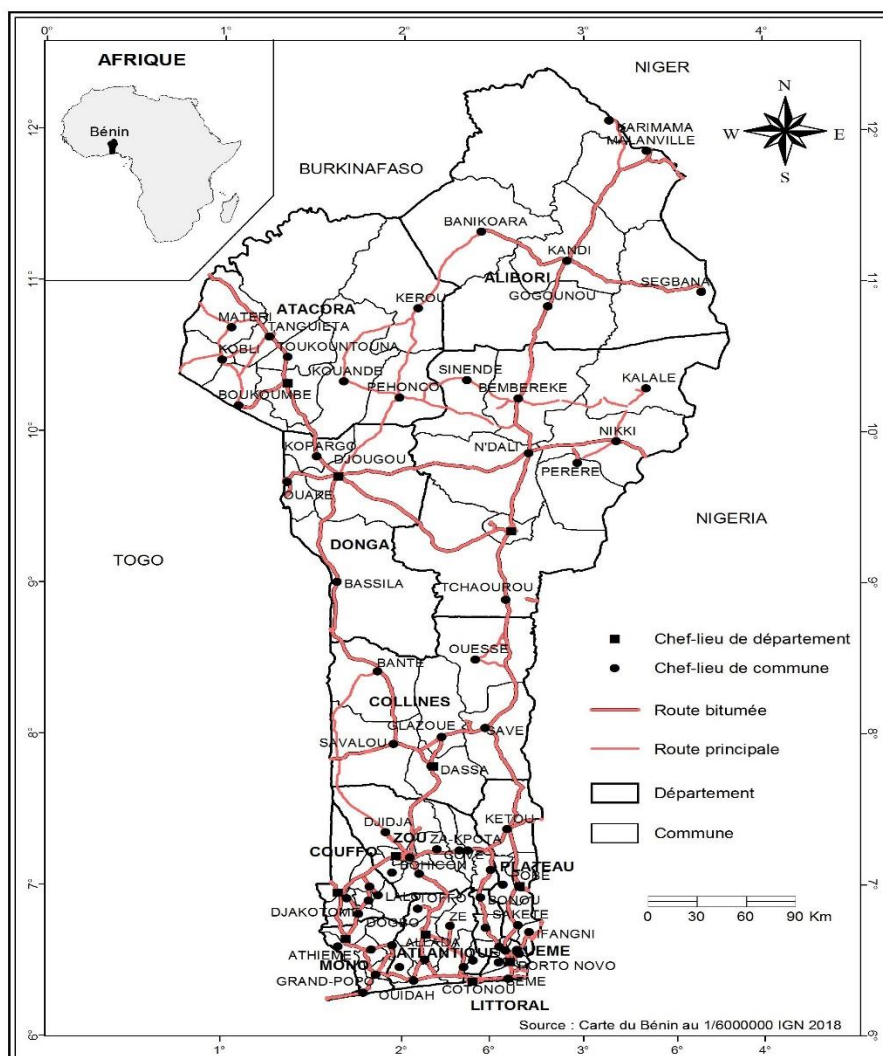


Figure 1 : Situation géographique de la république du Bénin

Le territoire du Bénin présente une diversité de formations pédologiques. Sur les vertisols et les sols hydromorphes sont pratiquées les cultures maraîchères en l'occurrence la tomate, les légumes et la patate tandis que les sols ferrallitiques portent les cultures comme le maïs, le haricot, l'arachide, le manioc et le palmier à huile. La pression anthropique a abouti à la présence d'une mosaïque de cultures, de jachères et d'îlots de forêts.

Au nord des plateaux de terre de barre, jouxte immédiatement le plateau cristallophyllien ou granito-gneissique. Son altitude moyenne varie entre 200 et 300 m (K. S. Adam et M. Boko, 1983, p.14). Ce plateau cristallin est une vaste étendue de terre surmontée de reliefs résiduels appelés collines. Celles qui sont en roches métamorphiques présentent une forme de dômes tandis que les collines en granite ont une forme de pain de sucre et sont appelées des inselbergs. Ces reliefs résiduels sont des témoins du processus d'aplanissement du socle précambrien. Il s'agit alors d'une pénéplaine dont les altitudes moyennes varient de 250 à 300 m (F. Médénouvo, 2012, p. 25). Ce socle est le support de plusieurs types de sols. Ce sont principalement, des sols minéraux bruts ou sols squelettiques ou peu évolués, des sols ferrugineux et des sols hydromorphes. Les sols ferrugineux sont en matière de superficie les plus importants. Ils se présentent sous plusieurs formes. Selon K. S. Adam et M. Boko (1983, p. 22), il existe des sols ferrugineux fortement concrétionnés du nord-Bénin qui présentent par endroits des couches de cuirasse non cultivable et ceux faiblement concrétionnés du centre qui ont une fertilité moyenne. Ils supportent une variété de cultures dont les plus importantes sont

le maïs, le manioc, le haricot, l'arachide, l'igname, le sorgho, le coton. Les sols hydromorphes longent les cours d'eau et occupent les zones marécageuses. Le plateau granito-gneissique est balayé au sud par un climat de transition entre le climat subéquatorial et le climat soudano-guinéen à une saison de pluies et une saison sèche et au nord par les climats soudaniens humide et sec. La température moyenne est 29.1°C avec une pluviométrie annuelle de 1100 mm. Plusieurs paysages végétaux sont observés. Il s'agit notamment des forêts décidues et semi-décidues comme celles des réserves de la Pendjari, des savanes boisées, arborées, arbustives et des forêts galeries observées le long des fleuves et rivières. Il y a également les plantations de manguiers, d'anacardiens et de tecks. Les formations végétales fournissent à la population des fruits, des matières premières ligneuses pour les meubles, la construction des infrastructures, pour de l'énergie et des plantes médicinales pour le traitement des maladies, etc. Dans le nord-est et plus précisément de Kandi au fleuve Niger, se trouve un plateau de grès d'une altitude moyenne de 250 m, parsemé de petites buttes de dénivellation très faible (K. S. Adam et M. Boko, 1983, p.14) tandis que dans le nord-ouest, il y a la chaîne de l'Atacora d'une altitude moyenne variant entre 400 et 700 m (F. Médénouvo, 2012, p. 25). Ces deux types de relief portent presque les mêmes formations végétales que le plateau granito-gneissique.

Le Bénin est drainé par les fleuves le Coffo, le Mono, le Niger, l'Ouémé et des rivières comme principalement la Pendjari, Mékrou, Alibori et Sota au nord, l'Okpara et le Zou au centre. Ces cours d'eau ont un régime saisonnier et offrent des possibilités de construction des retenues d'eau qui peuvent contribuer à la promotion d'une agriculture irriguée. Quelques retenues d'eau existent mais la majorité sert à l'approvisionnement des populations en eau et à l'abreuvement du cheptel et une infime partie contribue à l'irrigation des cultures. A l'exception du Niger qui traverse en sa grande partie le milieu sahélien, tous les autres fleuves ont un régime tropical avec une crue pendant la saison pluvieuse de juillet à octobre et l'étiage à la fin du mois d'avril (K. S. Adam et M. Boko, 1983, p. 26). Ils sont par endroits navigables et ont un débit variant entre 10 et 900 m³/s favorable à la construction des retenues d'eau et surtout de barrages hydroélectriques. A ces cours d'eau, s'ajoutent les plans d'eau comme les lacs Ahémé, Nokoué, Towo, les lagunes de Porto-Novo, de Ouidah et de Grand-Popo toutes localisées dans le sud du Bénin. Le réseau hydrographique permet dans une certaine mesure des activités agricoles (cultures maraîchères, cultures de contre saison). Il permet également des activités halieutiques de transport notamment des populations enclavées et des produits de la contrebande qui sont commercialisés. Les cours et plans d'eau constituent des sites touristiques comme la cité lacustre de Ganvié

Au Bénin, il existe une faune terrestre et aquatique riche et diversifiée. Dans les réserves et les parcs des formations végétales, existent un macrofaune composé notamment des éléphants, des buffles, des cobs de buffon, des bubales, des lions, des léopards, etc. Par ailleurs, il y est et un peu partout des singes, des reptiles, des rongeurs, des oiseaux et beaucoup d'insectes. Une observation globale du secteur de recherche a permis de constater que le palmier à huile a pour zone écologique le domaine du climat subéquatorial ou béninien et les zones soudanaises et soudano-guinéennes sont écologiquement favorables à la culture du coton et au développement du néré, du karité, du baobab, d'anacardier. Le territoire du Bénin abrite plusieurs groupes socioculturels qui constituent une population de 10008749 habitants dont 48% d'hommes et 52 % de femmes (INSAE, 2013, p. 4). C'est une population jeune, dynamique qui compte 80 % de ruraux qui exercent surtout l'agriculture (qui est l'activité économique la plus dominante), l'élevage, la pêche et l'artisanat. Les secteurs secondaire et tertiaire sont encore à l'état embryonnaire. Entre les composantes du territoire du Bénin, il existe des interactions qui font de l'Etat du Bénin un système. La compréhension et la maîtrise du fonctionnement de ce système nécessitent la collecte des données, leur traitement et l'utilisation des modèles d'analyse des résultats.

1-2 Collecte des données

Les données utilisées pour le compte de cette recherche ont été collectées pendant deux phases : la recherche documentaire et les enquêtes de terrain. Les données collectées sont multiples et de nature variée. En effet, des données météorologiques, hydrologiques et hydrauliques ont été obtenues respectivement à la Météo-Bénin et à la Direction de l'hydrologie et de l'hydraulique du Bénin afin d'analyser les ressources hydriques, hydrologiques et hydrauliques disponibles et la variabilité des données météorologiques notamment les pluies et les températures dans le temps et dans l'espace. Les données climatologiques de 1941 à 2021 ont été utilisées pour analyser l'évolution des éléments des climats du Bénin. Elles ont permis également d'identifier les zones humides. Les centres de documentation de l'Institut National de la Statistique et de la Démographique (INStAD) ont permis de disposer des données démographiques et socioéconomiques pour apprécier les modes de vie de la population et la gestion des eaux notamment dans le domaine agricole. Des statistiques relatives aux rendements et productions agricoles ont été collectées dans les services du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP) pour analyser l'évolution de ces paramètres dans le temps afin de déterminer leurs facteurs. Dans le cadre de cette recherche, les enquêtes de terrain ont été réalisées grâce à plusieurs visites de sites. Un matériel a été utilisé pour la collecte des données. En effet, un Global Positioning System (GPS) a permis de déterminer les coordonnées géographiques des objets et des sites utiles à cette étude. Une station totale a servi à réaliser des mesures bathymétriques afin d'apprécier la faisabilité ou non de la construction des retenue d'eau à tels ou tels endroits. Un appareil photographique a été utilisé pour prendre les images des éléments devant faire objets d'illustrations dans ce travail. Un smartphone a permis d'enregistrer les entretiens réalisés avec des personnes ressources. Des tubes-éprouvettes ont été utilisés pour le prélèvement les eaux des retenues afin de les analyser pour déterminer leur nature acide ou basique. En outre, des fiches d'entretien ont été aussi utilisées. Avec ce matériel, plusieurs techniques de recherche ont été utilisées sur le terrain.

Avant les enquêtes de terrain proprement dites, des observations indirectes ont été réalisées. Elles ont été possibles grâce à l'interprétation des images satellitaires Landsat Spot de décembre 1985 et de novembre 2015 d'une part et celles de 1998 et de 2018 d'autre part. Toutes ces images satellitaires ont une résolution de 30 m. Plusieurs cartes ont été aussi utilisées à cet effet. Il s'agit notamment de la carte d'occupation du sol du Bénin en 1990, de la carte du Bénin et le plan Bénin qui constituent le guide du routard Bénin et proposent toutes les informations pratiques, culturelles. Ensuite ont été également mises à contribution, la carte géographique du Bénin avec les villes et les reliefs, la carte des régions du Bénin, la carte administrative du Bénin, les cartes géologique, pédologique, climatique, de la végétation, du réseau hydrographique du Bénin, du relief, etc. Les enquêtes de terrain ont commencé au début du mois de mars 2022 et ont pris fin le 15 novembre 2022 afin de pouvoir observer les phénomènes hydriques, hydrologiques, hydrauliques et hydrographiques pendant les saisons pluvieuses et sèches dans toutes les régions du Bénin. Des vérifications directes du terrain ont permis de rectifier les erreurs des interprétations des images satellites couvrant le secteur d'étude. Les données relatives aux aménagements hydroagricoles : technologie utilisée, superficie, structures impliquées, coûts d'aménagement, cultures produites, etc. ont été collectées auprès des structures impliquées. Les enquêtes de terrain ont permis d'apprécier les perceptions des populations sur les aménagements hydroagricoles. Pour ce faire, la Méthode Accélérée de Recherche Participative (MARP) a été utilisée. Elle consiste à obtenir très rapidement des populations leurs perceptions sur les relations entre les dérèglements climatiques et les activités agricoles et sur la maîtrise de l'eau pour une agriculture béninoise durable. La période de 1941 à 2021 a été subdivisée en trois séries : 1941-1970, 1971-2000 et 2001-2021. Les fréquences des années pluviométriques extrêmes ont été calculées sur chacune de ces séries. Dans le cadre de cette

recherche, la méthode probabiliste de D. Schwartz (2002) a permis d'avoir une partie de l'échantillon représentatif de la population à interroger (Tableau I).

Tableau I : Répartition des ménages interrogés

Départements -du Bénin	Nombre de ménages départements	Nombre de chefs de ménages à interroger (N ₁ , N ₂ , N ₃ , N ₄ , N ₅ , N ₆ , N ₇ , N ₈ , , N ₉ , N ₁₀ , N ₁₁ , N ₁₂ , N ₁₃ , N ₁₄)	Nombre de chefs de ménage interrogés (n ₁ , n ₂ , n ₃ , n ₄ , n ₅ , n ₆ , n ₇ , n ₈ , n ₉ , n ₁₀ , , n ₁₁ , , n ₁₂ , n ₁₃ , n ₁₄)	Pourcentage(%) des chefs de ménage interrogés
Alibori	108351	87	18	7 %
Atacora	107599	87	18	7 %
Atlantique	298769	217	56	21 %
Borgou	158099	126	26	10 %
Collines	129159	100	20	07 %
Couffo	140444	113	22	07 %
Donga	66433	59	12	04 %
Littoral	166433	127	26	09 %
Mono	105986	87	18	07 %
Ouémé	232620	52	10	04 %
Plateau	110532	87	18	07 %
Zou	178698	138	28	10 %
Total	1803123	1280	272	100 %

Source : Travaux de terrain, octobre 2022

La méthode statistique de D. Schwartz repose sur la formule $N = T^2PQ/e^2$ avec N= taille de l'échantillon par département ; T= écart fixé à 1,96 correspondant à un degré de confiance de 95 % ; P= nombre de ménages par département / nombre de ménages de la population-mère ; Q = 1-P ; e = marge d'erreur qui est égale à 5 %. Le nombre de chefs de ménage à interroger est déterminé par département retenu comme la base de l'échantillon. Le Bénin compte 12 départements : Alibori, Atacora, Atlantique, Borgou, Collines, Couffo, Donga, Littoral, Mono, Ouémé, Plateau et Zou. Soient N₁, N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇, N₈, N₉, N₁₀, N₁₁, N₁₂, les tailles respectives de chacun des sous-échantillons départementaux à interroger et n₁, n₂, n₃, n₄, n₅, n₆, n₇, n₈, n₉, n₁₀, n₁₁, n₁₂, le nombre des chefs de ménage réellement interrogés par département. Le département d'Alibori a 108351 ménages et le Bénin en compte 1803123 (INStAD, 2013, p. 26). En appliquant la formule de D. Schwartz, $N_1 = 1,96 \times 1,96 (108351 : 1803123) (1-0,06) / 0,0025 = 87$. C'est de la même manière que N₂, N₃, N₄, N₅, N₆, N₇, N₈, N₉, N₁₀, N₁₁, N₁₂ ont été calculés avec les effectifs respectifs de ménage par département. Au total 1280 chefs de ménage sont à interroger. Dans l'impossibilité d'interroger chacune des 1280 personnes, 20 % de cet ensemble ont été retenus, interrogés et désignés par n₁, n₂, n₃, n₄, n₅, n₆, n₇, n₈, n₉, n₁₀, n₁₁, n₁₂ suivant chacun des 12 départements concernés. Chaque département est proportionnellement représenté dans l'échantillon utilisé dans le cadre de cette recherche. L'observation des statistiques relatives au nombre de ménages par département permet de constater que c'est le département de la Donga qui a le plus faible effectif de ménages (66433) qui représente le quota de base. L'effectif des ménages des autres départements représente un certain nombre de fois celui de Donga. A partir de cette base de quota des personnes ont été identifiées par choix raisonné pour être membre de l'échantillon représentative de la population béninoise (Tableau II). Le tableau II montre la répartition par département du nombre de personnes retenues par choix raisonné dans le cadre de cette recherche. Il s'agit de 53 personnes choisies suivant des critères comme être spécialistes des sciences de la terre, personnes ressources des directions de l'hydraulique, des mines et géologie, gestionnaires des retenues d'eau, des sociologues et anthropologues, etc.

Tableau II : Répartition des membres de l'échantillon désignés par choix raisonné

Départements -du Bénin	Nombre de ménages départements	Nombre de fois le quota de base	Nombre de membres de l'échantillon retenus par choix raisonné	Pourcentage (%) de personnes retenues par choix raisonné
Alibori	108351	1,63	03	7 %
Atacora	107599	1,61	03	7 %
Atlantique	298769	4,50	09	21 %
Borgou	158099	2,4	05	10 %
Collines	129159	1,94	04	07 %
Couffo	140444	2,11	04	07 %
Donga	66433	1	02	04 %
Littoral	166433	2,51	05	09 %
Mono	105986	1,60	03	07 %
Ouémé	232620	3,5	07	04 %
Plateau	110532	1,7	03	07 %
Zou	178698	2,69	05	10 %
Total	1803123	27,19	53	100 %

Source : Travaux de terrain, octobre 2022

Ces personnes sont localisées souvent dans les chefs-lieux des communes. Elles sont choisies dans les communes les plus rurales des départements au prorata du nombre d'enquêtés retenus. Ainsi, une commune ne peut fournir qu'un seul enquêté. La méthode statistique de Schwartz et le choix raisonné par quota ont permis d'interroger un échantillon de 325 personnes dans le cadre de cette recherche. Les personnes ressources ont été interrogées par usage d'un guide d'entretien et les autres membres de l'échantillon ont été soumis à des questionnaires. Une grille d'observation a permis de collecter des données en milieu réel. Les données collectées ont été traitées et des modèles d'analyse des résultats ont été utilisés.

1-2 Traitement des données et l'analyse des résultats

Les données collectées ont été manuellement dépouillées et rangées sous formes de tableaux et graphiques à l'aide des tableurs Word et Excel. Les images satellitaires du secteur de recherche de décembre 1985 et de novembre 2015 d'une part et d'autre part de janvier 1998 et de mars 2018 de 30 m de résolution ont été soumises à une photo- interprétation Les pixels ont été affectés à la classe la plus vraisemblable. Une matrice de confusion a permis la validation des cartes de répartition des aménagements hydroagricoles sur le territoire béninois en 1998 et 2018 et d'analyser la dynamique de l'occupation du sol au niveau d'un secteur d'aménagements hydroagricoles. A cet effet, la vallée du fleuve Niger au Bénin a été choisie à cause de son caractère multiculturaliste et de l'intensification des cultures irriguées. Des logiciels ont été aussi utilisés pour le traitement des images. Le logiciel ERDAS Imagine 2011 version 11.02 a permis les corrections radiométriques et géométriques, l'assemblage des bandes, le mosaïque, le découpage du secteur de recherche, la classification supervisée des images satellitaires, l'évaluation de la classification. Pour la création, l'habillage, l'édition des cartes, la détection de changement entre les différentes images satellitaires, l'analyse de quelques données statistiques, c'est le logiciel ArcGIS version 10.1 qui a été utilisé. Les images satellitaires de 1985 et 2015 ont permis de mettre en relief la répartition des points d'eau sur le territoire béninois en 1985 et 2015 en révélant l'augmentation de leur nombre en 2015 par rapport à 1985. L'interprétation des images satellitaires de 1998 et 2018 ont permis d'analyser la dynamique de l'occupation du sol par les aménagements hydroagricoles. Ce traitement des données a

permis d'obtenir des résultats qui ont été analysés les modèles systémique, SWOT (*Strength-Weaknesses-Opportunities-Threats*) et le PEIR (*Pressions, Etats, Impacts et Réponses*).

2 Résultats

2-1 Dérèglements climatiques, un déterminant essentiel des aménagements hydroagricoles au Bénin

L'agriculture béninoise est dans sa quasi-totalité pluviale. Cette caractéristique fait d'elle une activité qui dépend des perturbations climatiques et météorologiques. La régularité et la bonne répartition des pluies sont parmi les principaux facteurs de la production végétale. Les aléas climatiques (inondations, irrégularités des pluies et sécheresses) constituent alors des sources de mauvaises récoltes et de faibles productions générateurs de l'insécurité alimentaire. Il est observé au Bénin, une différenciation des climats d'une zone à une autre. Malgré les huit zones agro écologiques, globalement au niveau national, trois grandes zones climatiques peuvent être retenues pour la production agricole : la zone guinéenne ou subéquatoriale, dans le sud entre 6°30 et 7° de latitude Nord où la pluviométrie varie de 900 mm à 1500 mm par an avec une température moyenne annuelle de 26,5°C, une humidité relative de 75% en moyenne par an, une insolation moyenne annuelle de 2290 heures. Dans ce secteur, il y a deux saisons de pluies et deux saisons sèches. La grande saison pluvieuse commence au mois de mars pour prendre fin en juillet et la petite de septembre à novembre. La grande saison sèche commence de décembre à février et la petite couvre le mois d'août. Le diagramme ombrothermique (figure 1) de la zone subéquatoriale du Bénin met en relief cette répartition des saisons climatiques.

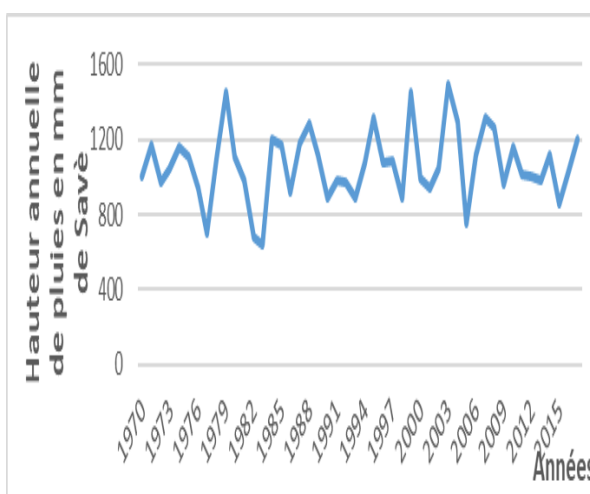
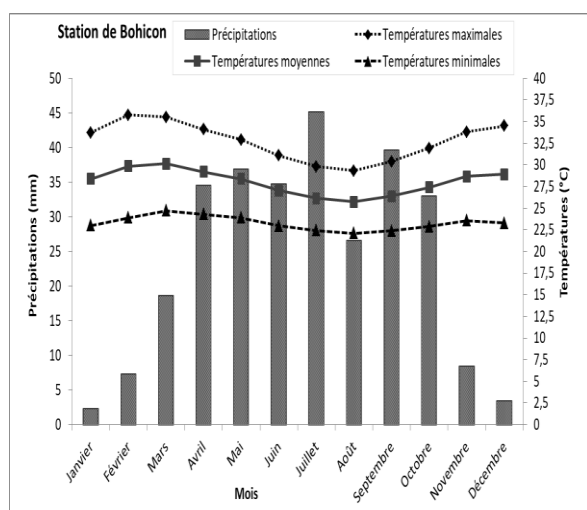


Figure 2 : Courbe ombrothermique du littoral béninois de 1970-2017 **Figure 3 :** Variations annuelles des hauteurs de pluies de 1970 à 2017

Source : Météo-Bénin, Station de Cotonou, 2022 **Source :** Météo-Bénin, Station de Savè, 2022

La courbe ombrothermique (figure 2) révèle que les différentes sortes de températures sont élevées et constantes de janvier à mai et baissent de juin à septembre pour commencer par s'élever d'octobre à décembre chaque année. Sous ce type de climat, les années connaissant des inondations sont très fréquentes et représentent 58, 3% des dérèglements climatiques, les irrégularités de pluies 30, 7% et les sécheresses 11 %. La zone subéquatoriale est suivie dans sa limite septentrionale de la zone soudano-guinéenne située au centre entre 7° et 10° de latitude Nord avec des fluctuations de température très marquées et une pluviométrie moyenne de 1200 mm par an, une température moyenne annuelle de 27°C et une humidité relative de 60% en moyenne par an, avec une insolation moyenne annuelle de 2305 heures.

Les moyennes annuelles pluviométriques ont également une tendance vertigineuse à la baisse (Figure 3). Le graphique (figure 3) permet d’apprécier la variabilité interannuelle et la tendance de la pluviométrie. L’analyse de la courbe pluviométrique de la zone centre représentée par la figure 3, révèle que dans la région, il y a eu des déficits pluviométriques en 1964 et 1967, entre 1969 et 1977, en 1983, entre 1990 et 1996, entre 2000 et 2003, etc. Les années 1980, 1988, 1995, 2000, 2003, 2008, etc., ont connu de fortes pluviosités avec des excédents pluviométriques. Dans la zone soudano-guinéenne, il y a un climat de transition entre le climat subéquatorial et le climat soudano guinéen. Ce climat est situé entre 7°45’ et 8°30’ latitude. Le régime pluviométrique présentait dans la série climatologique 1941-1970 nettement deux saisons sèches et deux saisons de pluies (figure 4).

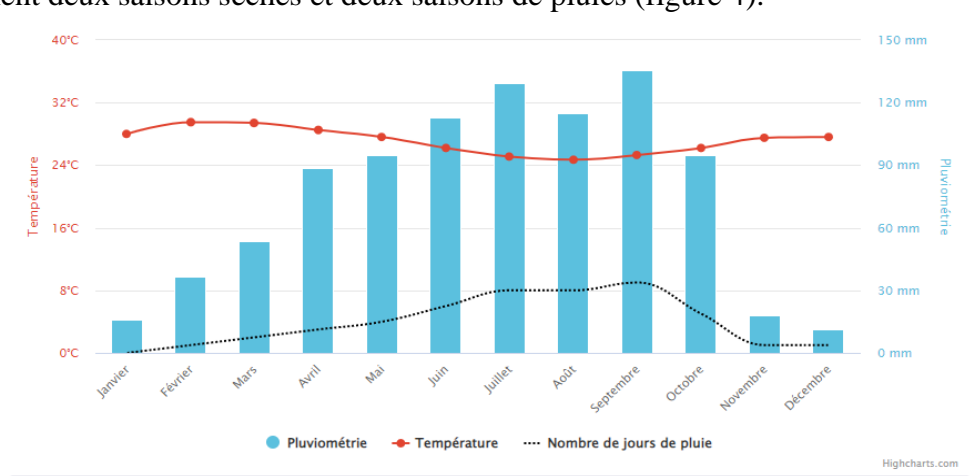


Figure 4 : Courbe ombrothermique de la zone de transition climatique au Bénin de 1941-1970
Source : Météo-Bénin, Station de Savè, 2022

La figure 4 montre de janvier à juillet une évolution croissante de la pluviométrie interannuelle de 1941 à 1970. Les caractéristiques du climat subéquatorial ci-dessus évoquées sont également observées avec une légère inflexion au mois d’août avant de reprendre en septembre pour commencer par chuter en octobre. Ainsi, il y a une grande saison pluvieuse de mars à juillet, suivie de la petite saison sèche en août. Ensuite commence la petite saison pluvieuse de septembre à novembre. De décembre à février, c’est la grande saison sèche. Mais depuis les années 1980, le régime pluviométrique connaît une variabilité avec une tendance à un régime uni modal (figure 5).

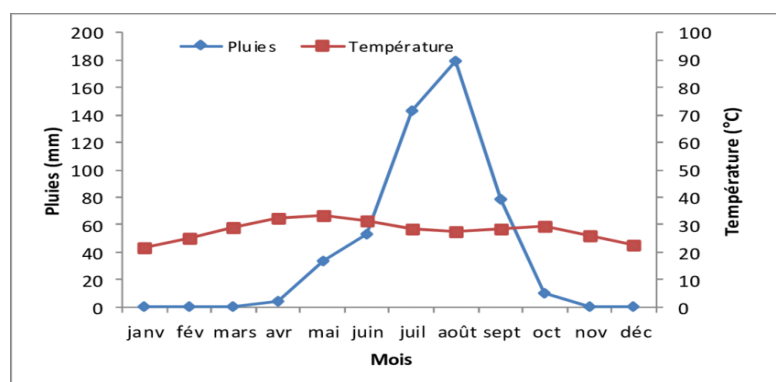


Figure 5 : Courbe ombrothermique du climat de transition 1980-2021
Source : Météo-Bénin, Station de Savè, 2022

La lecture de la figure 5 révèle l'évolution de la pluviosité annuelle moyenne de 1980 à 2021 à Savè dont le régime pluviométrique entre temps bimodal est devenu uni modal. Enfin, il y a une zone soudanaise semi-aride au nord du 10° latitude Nord, caractérisée par des pluies annuelles variant de 900 mm à 1100 mm et un déficit pluviométrique élevé, la température moyenne est de 27°C et l'humidité relative de 58% en moyenne par an, l'insolation moyenne est de 2862 heures. Dans cette zone, il y a une saison des pluies qui commence relativement de juin pour terminer en septembre et la saison d'octobre à mai. C'est ce que révèle la courbe ombrothermique de Kandi, une localité située dans la zone soudanaise sèche (Figure 6). Une variation pluviométrique annuelle est également observée (figure 7). La figure 6 montre que la température maximale est élevée de janvier à mai et supérieure à la pluviométrie. Ceci marque la prévalence d'une saison sèche. A partir du mois de juin la valeur de la température est inférieure à celle de la pluviométrie. C'est le début de la saison pluvieuse qui prend fin en septembre.

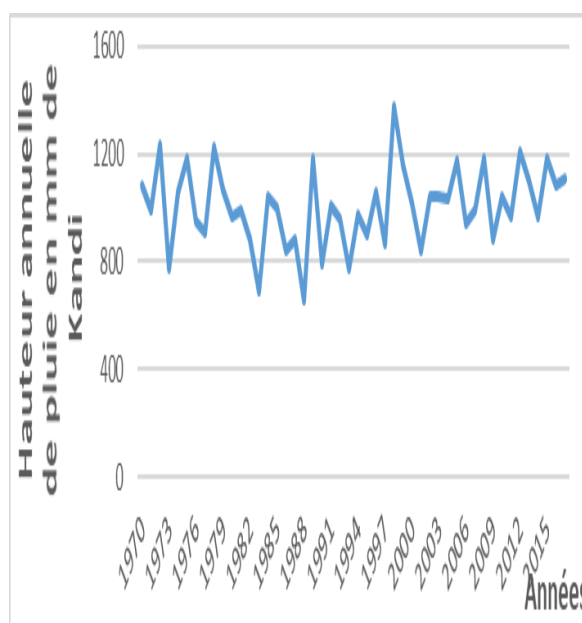
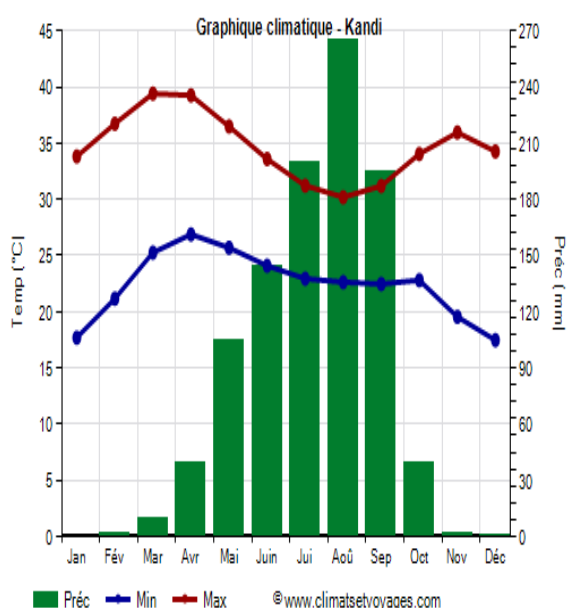


Figure 6 : Courbe ombrothermique de la zone soudanaise sèche, station de Kandi

Figure 7 : Variations annuelles des hauteurs de pluies de 1970 à 2017

Source : www.climatsetvoyages.com

Source : Météo-Bénin, Station de Kandi 2022

Au début du mois d'octobre, la courbe thermique est au-dessus de la pluviométrie. Ce fut le début de la saison sèche qui prend fin au mois de mai. Dans la zone nord, il y a une variabilité des hauteurs de pluies qui se traduit par des années de fortes et de faibles pluviométries suivant la norme pluviométrique de 1000 mm d'eau par an (Figure 7). A Kandi, la température moyenne du mois le plus froid (janvier) est de 25,8 °C, celle du mois le plus chaud (avril) est de 33,1 °C. De l'analyse de la courbe pluviométrique (figure 3) de la zone soudanaise aride, il ressort que les années comme 1977, 1983, 2000, 2014 ont été de très faibles pluviométries. De même la lecture de celle-ci a permis de constater que de 1970 à 1983 les pluies étaient plus abondantes (pluviométrie supérieure à 1200 mm) et que les hauteurs annuelles de pluies dans leur ensemble se réduisent des années anciennes vers les plus récentes. Ainsi, le déficit hydrique pluvial s'accroît d'années en années. Par contre en 1998, la pluviométrie a atteint 1400 mm. Les années extrêmement humides et sèches sont à l'origine de l'insécurité alimentaire avec l'aggravation de la pauvreté. Pour 78,6 % des agriculteurs interrogés, le calendrier agricole

n'est plus stable à cause du retard, de l'irrégularité et de l'arrêt précoce des pluies : 48, 1 % évoquent l'apparition des plantes exotiques envahissantes. L'observation des valeurs moyennes maximales et annuelles des pluviométries sont plus élevées tandis que les valeurs minimales sont faibles dans la série 1941-1970. Par contre dans la série 1971-2000 les valeurs pluviométriques extrêmes sèches et humides sont plus nombreuses et le nombre des années à pluviométrie déficitaire dépasse celui des années à pluviométrie excédentaire. Il en est de même dans la série inachevée de 2001-2021. Les fréquences des années à pluviométries déficitaire et excédentaire varient d'une série climatologique à l'autre et d'une station à une autre (tableau III e et IV).

Tableau III : Fréquence des années à pluviométries extrêmement déficitaire ou excédentaire des séries 1941-1970 et 1971-2000

Stations	Années sèches de 1941-1970	Années pluvieuses de 1941-1970	Total	Années sèches de 1971-2000	Années pluvieuses de 1971-2000	Total
Cotonou	11 %	35 %	46 %	17 %	26 %	43 %
Savè	14 %	18 %	32 %	24 %	15 %	39 %
Malanville	22 %	28%	50 %	29 %	20 %	49 %

Source : Travaux de terrain, Octobre 2022

Dans les séries climatologiques 1941-1970 et 1971-2000, les fréquences montrent une progression élevée, linéaire des années à pluviométrie extrêmement déficitaire tandis que celles des années à pluviométrie extrêmement excédentaire connaissent des hauts et des bas. Dans la série 2000-2022, la même tendance à l'élévation du nombre d'années extrêmement déficitaire est également observée. Le caractère incomplet de la série empêche de tirer des conclusions hâtives.

Tableau IV : Fréquence des années à pluviométrie extrême sèche ou humide des séries 1941-1970 et 2000-2021

Stations	Années sèches de 2000-2021	Années pluvieuses de 2000-2021	Total
Cotonou	21 %	22 %	43 %
Savè	28 %	30 %	58 %
Malanville	31 %	24%	55 %

Source : Travaux de terrain, octobre 2022

Les valeurs du tableau IV sont celles d'une série climatologique incomplète à prendre avec réserve. Les excès et les déficits pluviométriques ont des effets négatifs sur les espèces végétales. En effet, pour 65, 8 % des agriculteurs interrogés les fortes températures et chaleurs des années extrêmement sèches ont provoqué l'échaudage et la mort des plantules tandis que les agressivités climatiques entraînent leur déracinement, ensevelissement et la destruction des champs de cultures et des récoltes. L'agriculture étant essentiellement pluviale au Bénin, les extrêmes pluviométriques augmentent la vulnérabilité des activités agricoles. La variabilité climatique est un facteur important de la production agricole au Bénin. La conservation des excès de ressources hydriques certaines années pourraient permettre de compenser les besoins des périodes ou années déficitaires. Des aménagements hydroagricoles sont indispensables pour une durabilité agricole. Pour atteindre ses objectifs de pays à vocation agricole, le Bénin doit se doter d'une politique d'aménagements hydroagricoles

soutenue en mettant en valeur ses potentialités hydrologiques. Un état des lieux dans ce domaine est nécessaire pour apprécier les perspectives de l'agriculture béninoise.

2-2 Aménagements hydroagricoles, des piliers de la durabilité agricole insuffisants et à implantation onéreuse insupportable pour le Bénin

Les aménagements hydroagricoles présentent des intérêts économiques certains notamment dans les domaines agricole, pastorale et de pisciculture. Ce sont des sites de riziculture, de cultures maraîchères, de champs de maïs, d'arachide, de soja et de niébé. Ce sont des lieux d'abreuvement du cheptel. Ils limitent les pertes des animaux, les problèmes d'insécurité des troupeaux et des pasteurs, les conflits entre éleveurs et agriculteurs et contribuent à la sédentarisation des activités pastorales, la création des marchés de vente des animaux et des produits d'élevage et la commercialisation des produits maraîchers. Du lait, de la viande, de la peau des animaux et des œufs sont de plus en plus disponibles, moins coûteux et il y a eu la réduction des fréquences des épizooties. Il est observé au niveau des pasteurs que le nombre de leurs habitations croissent au fur et à mesure dans le temps et dans l'espace contrairement aux autres acteurs au développement. Dans les sites hydroagricoles, les rendements et les productivités sont élevés. En effet, par rapport aux potentiels agricoles non aménagés, les rendements des espaces aménagés ont augmenté dans une proportion de 2, 3, 4, 5 et 6 fois. Pour 72, 6% des producteurs des aménagements hydroagricoles, leurs productivités et revenus par hectare ont quadruplé par rapport à ceux qu'ils obtenaient sur des sites de cultures pluviales. Les mêmes tendances sont observées au niveau des produits agricoles, car la production au lieu d'être saisonnière est devenue pérenne au cours des années. Ils estiment par exemple récolter en moyenne 4 tonnes de tomate à l'hectare sur les périmètres hydroagricoles contre 1 tonne dans des zones agricoles pluviales. Au prix de 100000FCFA la tonne, le producteur du périmètre irrigué gagne 400000 FCFA contre 100000FCFA pour son homologue qui produit de la tomate sur des sites non irrigués. Les recettes liées à la vente des produits agricoles sur des périmètres irrigués sont devenues intéressantes qu'aux périmètres non aménagés. Les enquêtes réalisées dans le cadre de cette recherche ont révélé que le producteur agricole sur des périmètres irrigués a la possibilité de gagner en moyenne entre 350 000FCFA et 600000 FCFA / an alors que son homologue travaillant sur des zones à agriculture pluviale a un revenu variant entre 400000 FCFA et 250000FCFA / an sans garanties.

Les sites d'aménagements hydroagricoles sont des facteurs de développement socioéconomique. Pour 78, 2% des agriculteurs des aménagements hydroagricoles, l'agriculture permet aux producteurs de satisfaire leurs besoins notamment fondamentaux et de réduire la pauvreté. En effet, selon les enquêtes de terrain dans le cadre de cette recherche, avant les aménagements hydroagricoles, 15, 3 % des agriculteurs disposaient de moto contre 45, 8% après les aménagements hydroagricoles ; les maisons en matériaux définitifs ont passé de 9,7% à 25,1%, celles électrifiées de 3,9 % à 18, 6%, l'approvisionnement en eau potable de 1, 8% à 12, 3%, etc. Quant aux producteurs des sites agricoles pluviaux, les productions et les revenus sont aléatoires et incertains à cause des risques climatiques qui sont imprévisibles et devenus de plus en plus fréquents. Ils éprouvent plus de difficultés à satisfaire les besoins fondamentaux, d'où l'impossibilité de réaliser des économies avec l'insécurité alimentaire et l'aggravation de la pauvreté. Avec les aménagements hydroagricoles, certains bassins-versants comme ceux des fleuves Mono, Ouémé et Niger sont devenus des greniers avec des cultures diversifiées, la promotion de l'élevage et de la pisciculture. Ainsi, en dehors des années à pluviométrie extrêmement sèches et humides, les denrées alimentaires sont disponibles, variées, à accès facile. De ces faits, la sécurité alimentaire des populations de ces régions est relativement assurée. La multiplication et l'extension des aménagements hydroagricoles contribuerait au développement socioéconomique du Bénin. Sur les divers types d'aménagements ou périmètres

hydroagricoles, 40, 2 à 55, 6% des exploitants sont des femmes qui sont pour la plupart des chefs de ménage tandis que 71, 5% des propriétaires sont des hommes.

Les aménagements hydroagricoles permettent alors la valorisation des femmes. Le potentiel hydroagricole du Bénin est estimé à 322 000 ha de terres irrigables dont moins de 4 % ont été aménagés. Aussi, moins de 2 % des bas-fonds ont été aménagés. Conformément aux conclusions contenues dans l'Atlas hydrographique du Bénin réalisé par la Direction Générale-Eau en 2010, le Bénin disposerait de 309 ouvrages dont 201 barrages et le reste constitué de mares ou de surcreusements de mares (Tableau V). Le tableau V montre le nombre d'ouvrages de mobilisation d'eau pluviale par département. Ils sont insuffisants pour satisfaire l'irrigation des champs. En effet, leur implantation nécessite des investissements lourds. De ce fait, l'Etat est le principal acteur avec la promotion des micro aménagements hydroagricoles de diverses natures.

Tableau V : Répartition par département des types d'ouvrages de mobilisation

Département	Barrage	Chute	Mares naturelles	Surcreusements de mares	Total general
Alibori	26			36	62
Atacora	55	3			58
Borgou	56		14	45	115
Collines	32			20	52
Couffo	4				4
Donga	15			1	16
Plateau	2				2
Total	190	3	14	102	309

Source : Atlas hydrographique du Bénin DG-Eau 2010

Il est observé sur le terrain de recherche des périmètres rizicoles, de palmier à huile, de canne à sucre, de cultures maraîchères, de pisciculture, d'approvisionnement en eau, etc., dirigés par des sociétés d'Etat comme la Société d'Irrigation et d'Aménagement Hydro-agricole (SONIAH) et l'Office Béninois d'Aménagement Rural (OBAR). Les techniques d'irrigation reposent essentiellement sur l'utilisation des systèmes gravitaire et par pompage. Les exploitations ou périmètres ont une taille variant en moyenne entre 25 et 200 ha durant la période 1970 à 1990. A partir de 1990, l'option du libéralisme économique a permis aux acteurs privés de participer à la gestion des périmètres irrigués. L'arrosage manuel a été le système d'irrigation le plus utilisé par les acteurs privés qui se servent des arrosoirs et des motopompes qui leur permettent de prélever de l'eau notamment dans des plans d'eau et des puits. Ils gèrent des exploitations dont la taille moyenne varie entre 2 et 10 ha pour les individus et entre 10 et 25 ha pour les coopératives. Ils bénéficient de l'assistance technique et parfois financière et des dons de certaines Organisations Non Gouvernementales (ONG) et de l'Etat. Dans le littoral, les aménagements hydroagricoles sont basés sur l'irrigation par pompage et par arrosage manuel avec l'intensification des cultures maraîchères. La même prolifération est observée dans la partie septentrionale du pays au niveau des points d'eau aménagés. Ce phénomène est très remarquable lorsque les états de lieux par rapport à la distribution spatiale sont réalisés pour les années 1985 et 2015 (figures 5 et 6). La lecture des figures 5 et 6 permet de constater qu'en 2015 les points d'eau aménagés sont plus nombreux qu'en 1985. Il s'agit notamment pour la plupart de petites fontaines qui servent à abreuver le cheptel et à alimenter en eau des exploitations de cultures maraîchères de 200 à 500 m². Les aménagements hydroagricoles de grandes envergures sont rares car ils sont très coûteux. Selon les enquêtes de terrain dans le cadre de cette recherche auprès des acteurs de gestion des aménagements agricoles et des investisseurs, le coût des petits aménagements hydroagricoles varie entre 400000 et 550000FCFA / ha. Les aménagements hydroagricoles et hydroélectriques comme celui de

Nagbéto sur le fleuve Mono entre le Bénin et le Togo ont impliqué des investissements financiers techniques et matériels onéreux pris en charge par les deux pays et les investisseurs internationaux ou partenaires au développement comme la Banque Africaine de Développement, Fonds Africain de Développement, etc., qui contribuent aux réalisations sous forme de prêts et de dons. En effet, pour le projet de développement hydro-agricole de la vallée de l'Ouème le gouvernement du Bénin a fait deux prêts du Groupe de la Banque (n° ADBY'OPS/DAH IAGR/R ET ADF.LBD/75/32) représentant respectivement 310'000 UCB et 3,5 millions UCF et ont été approuvés en 1973 et 1975.

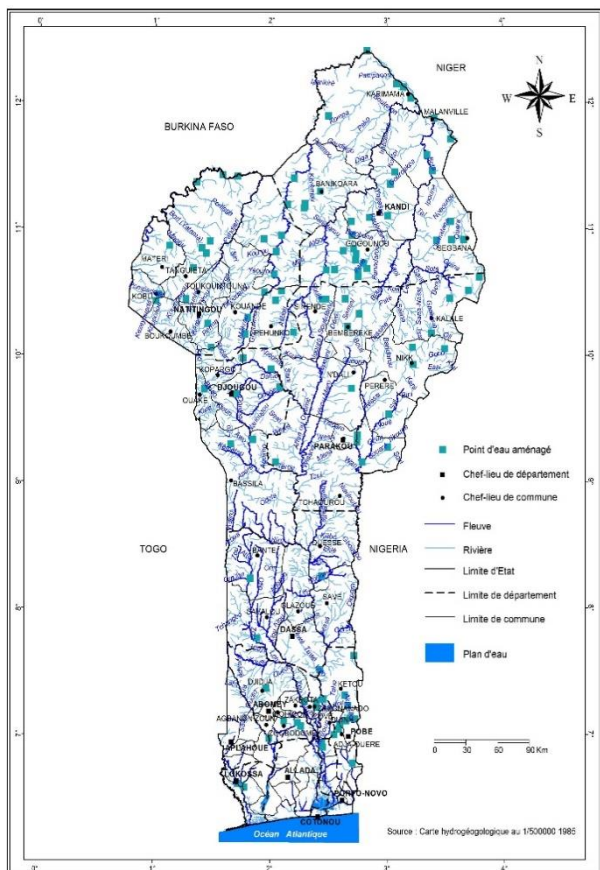


Figure 5 : Répartition des aménagements hydroagricoles au Bénin en 1985

Source : Images satellitaires du Bénin de 1985

Réalisation : MAKPONSE, octobre 2022

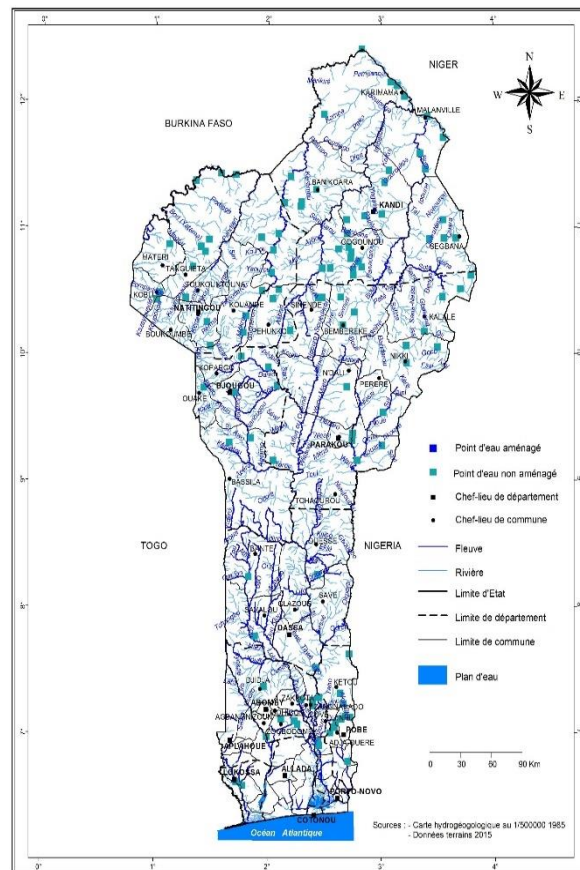


Figure 6 : Répartition des aménagements hydroagricoles au Bénin en 2015

Source : Images satellitaires du Bénin de

Réalisation : MAKPONSE, octobre 2022

En comparant les figures 5 et 6, il est observé que le nombre de points en 2015 est plus important qu'en 1985.

En 2016, le Bénin a bénéficié des dons de la Banque Africaine de Développement pour les travaux de réhabilitation des retenues d'eau avec des aménagements hydroagricoles à la partie avale des ouvrages sur sept sites dans les communes de Banikoara (Barrage de Batran), de Gogounou (Barrage de Nouari), de N'dali (Barrage de Sakarou, Tchaourou, Winra), de Tchaourou (Barrages d'Alafiarou et de Boukousera), de Ouèssè (Barrage de Bottihouébo). Ainsi, sept (07) barrages sont construits pour des superficies allant de 4 à 15 ha. Il s'agit d'un projet d'appui à la production vivrière et de renforcement de la résilience dans les départements de l'Alibori, du Borgou et des collines (PAPVIRE-ABC). Dans le Programme d'Action du Gouvernement (PAG) sur la période 2021-2026, il est prévu des aménagements hydroagricoles

dans 11 communes avec un coût estimatif de 94 milliards de francs CFA. Les aménagement hydroélectriques et hydroagricoles coûtent très chers. C'est le cas du barrage hydroélectrique d'Adjarala qui nécessite un coût global de 266 milliards de francs CFA. La réhabilitation du barrage de Nagbéto exige un montant de 15 millions d'Euros qui sera cofinancé par le Togo et le Bénin qui a bénéficié d'une subvention de 4 millions d'Euros. Le Bénin n'a jamais seul aménagé des terres irrigables de très grandes superficies. Les coûts de réalisation dépendent des superficies, des caractéristiques climatiques, géologiques, pédologiques et de la couverture végétale des sites. Le Bénin est un pays pauvre qui manque de moyens financiers pour implanter suffisamment des aménagements hydroagricoles. La rareté des aménagements de grande envergure au Bénin est préjudiciable à la nation surtout qu'il s'agit d'un pays à vocation agricole et dont l'agriculture est essentiellement pluviale.

2-3 Aménagements hydroagricoles, sources de dégradations environnementales variées

Les aménagements hydroagricoles posent plusieurs problèmes environnementaux. Il s'agit notamment de la dégradation des écosystèmes, de la pollution, des problèmes sanitaires, des inondations des exploitations agricoles, des problèmes fonciers, etc. Les aménagements hydroagricoles sont souvent réalisés dans les zones humides pourvues pour la plupart de végétation luxuriante et arborescente, de forêts décidues, semi-décidues et marécageuses. Ces lieux sont occupés par des activités économiques qui sont à l'origine de la déforestation, comme cela se remarque dans la vallée du fleuve Niger au Bénin (figures 7 et 8).

L'implantation des aménagements hydroagricoles au Bénin a contribué à une dynamique globalement régressive sur leurs sites comme le montrent le tableau I.

Tableau I : Dynamique de l'occupation du sol par les aménagements hydroagricoles de 1998 et 2018 au Bénin

Occupation sol	Superficie (Ha)	%	Superficie (Ha)	%
Zone de forêts et de Savanes	2375149	54,66%	1762649	40,57%
Zone de Plantations	103937	2,39%	127828	2,94%
Zone rocheuse ou cuirassée	3774	0,09%	3774	0,09%
Zone de Cultures	1397648	32,17%	1971623	45,38%
Zone marécageuse	73796	1,70%	73796	1,70%
Plan d'eau	354361	8,16%	354361	8,16%
Habitation	36282	0,84%	50916	1,17%
TOTAL	4344947	100,00%	4344947	100,00%

Source : Résultats de l'interprétation des images satellitaires du Bénin de 1998 et 2018

Le tableau I montre une régression au niveau de la zone de forêts et de Savanes de 1998 à 2018 en passant de 54,66 % à 40,57 % Par contre au niveau des cultures et jachères, il y a une augmentation des superficies qui passent de 32, 1% à 45,38 %, les superficies des plantations ont évolué de 2, 39 % à 2, 94 %. Les agglomérations ont connu un accroissement spatial de 0,84 % à 1 ,17%. Cette dynamique est observée sur les cartes d'occupation du sol par les aménagements hydroagricoles au Bénin (figures 7 et 8). Les périmètres irrigués au Bénin de 1998 à 2018(figures 1 et 2) ont révélé une dégradation environnementale notamment due à des crues exceptionnelles enregistrées dans le secteur d'étude, à la variabilité pluviométrique et aux pressions anthropiques. En effet, les périmètres irrigués constituent des points de mire pour les producteurs agricoles. Les arbres de taille variant entre 15 et 25 m sont déracinés ou coupés.

Ainsi, de grandes quantités de matières ligneuses sont laissées à l'air libre sous les effets des intempéries et finissent par se décomposer en laissant échapper de carbone. Les moyens parfois lourds utilisés tels les tracteurs et les camions participent au bouleversement des sols qui constituent en ces lieux de grandes réserves ou stocks de grandes quantités de carbone qui sont libérées dans la nature. Pour la Contribution Déterminée au niveau National (CDN) du Bénin « Les émissions totales des GES du Bénin s'établissent en 2018 à environ 16,94 Méga tonne Equivalent-CO₂ (Mt ECO₂), soit environ 1,5 tonne E-CO₂ par habitant, secteur Utilisation des Terres, Changements d'Affectation des Terres et Foresterie (UTCATF) exclu. Ces émissions proviennent des secteurs de l'énergie (63 %), de l'agriculture (28,6 %), des déchets (5,3 %) et des procédés industriels (3,1 %). En tenant compte du secteur UTCATF, les émissions nettes de GES s'établissent à 10,6 Mt E-CO₂ ».

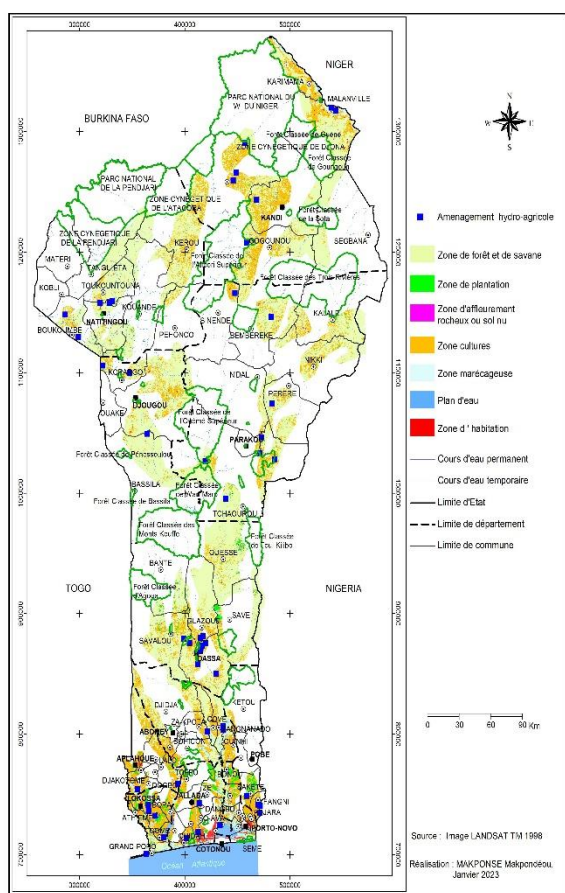


Figure 7 : Carte d'occupation du sol par les aménagements hydroagricoles au Bénin en 1998

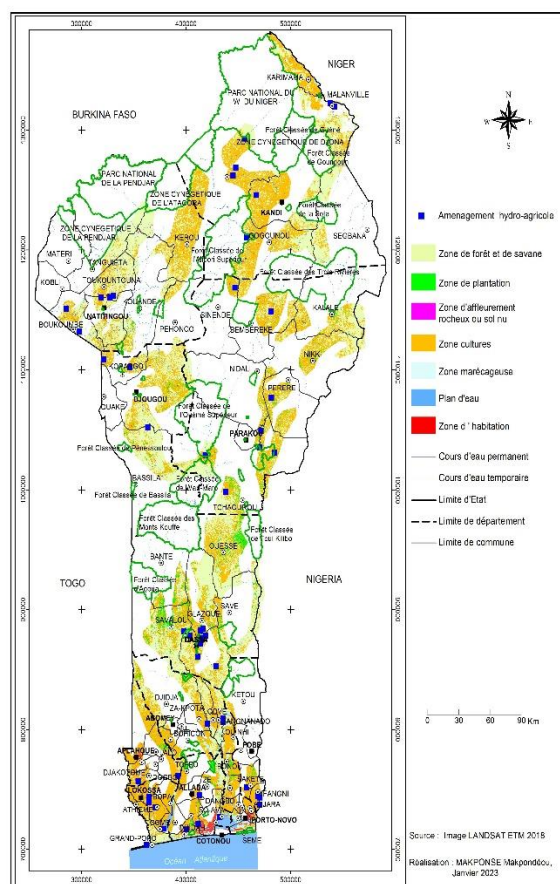


Figure 8 : Carte d'occupation du sol par les aménagements hydroagricoles au Bénin en 2018

Les passages répétés des engins lourds, entassent les sols qui deviennent en ces lieux compacts et imperméables à l'eau. Après la destruction des biotopes les espèces animales terrestres, elles sont affolées et pourchassées, tuées, voire massacrées par la population riveraine. Pour 76, 4% des octogénaires interrogées, nombre d'espèces animales comme les antilopes, les singes rouges, la taupe, le buffle et autres ont disparu. Les animaux aquatiques et les microorganismes sont victimes de l'usage parfois abusif des engrais chimiques, des pesticides, des herbicides et

autres produits toxiques. En effet, selon les enquêtes dans le cadre de cette étude, les producteurs de maïs utilisent en moyenne entre 1 et 2 tonnes d'engrais chimique / ha / an, de coton entre 2 et 3 tonnes / ha / an ; ceux de soja et de niébé utilisent entre 20 et 250 kg de pesticides / ha / an, etc. Ces substances pourraient polluer les eaux et les sols. En effet, l'analyse au laboratoire des eaux prélevées au niveau des cours et plans d'eau pendant les saisons pluvieuses a révélé que le p^H varie entre 6,74 et 6,88 tandis qu'avec celles des saisons sèches le p^H varie entre 5,4 et 5,8. Ceci explique les cadavres de batraciens et de poissons observés le long ou autour des cours et plans d'eau notamment pendant les saisons sèches. La confirmation d'une pollution chimique ne peut être faite qu'après une comparaison de ces données avec les normes d'usage recommandées par les institutions nationales du Bénin ou avec les normes de la FAO. Pour 60,1 % des agriculteurs des zones hydroagricoles sont de plus en plus envahies par des plantes exotiques telle que la jacinthe d'eau. Les aménagements hydroagricoles sont également sources des problèmes sanitaires. Les maladies dont souffrent les riverains et les exploitants sont d'origine hydrique comme le paludisme, le draconculose, l'onchocercose, la bilharziose, le choléra. La consultation des archives des centres de santé des populations riveraines des aménagements hydroagricoles a révélé qu'avant les installations et équipements hydroagricoles, le nombre de patients déclarés malades du paludisme représente entre 15,1 et 30,5 % des malades, mais le taux après les aménagements hydroagricoles passe entre 58,7 à 71,8 %, la bilharziose entre 1,8 et 5,4 % et la draconculose entre 8,6 à 12,4 %, etc., à cause de la présence des retenues d'eau.

Pendant les périodes de pluies exceptionnelles, les retenues sont débordées et l'eau envahit et déborde les espaces prévus pour les aménagements hydroagricoles. Il en résulte la mort de certaines plantes par la turgescence exagérée de leurs cellules, la destruction des champs de cultures et de récoltes. Les inondations observées dans les vallées des principaux cours d'eau au Bénin comme en 2022 dans la vallée du fleuve Niger, ont provoqué des dégâts matériels et humains au niveau des aménagements hydroagricoles. Il s'agit particulièrement de l'immersion de 1563 ha de cultures, le déchaussement de ponts, la destruction des habitations des producteurs agricoles et éleveurs installés dans les périmètres aménagés. Les aménagements agricoles exigent la disponibilité de terrain. Il se pose le problème de droit de propriété. Il existe au Bénin trois modes d'accès au terrain : par achat, par héritage et par don. Du fait que la population croît et la consommation ou l'occupation est de plus en plus rapide et à grande échelle, la disponibilité de terrain par individu se réduit et son accès est devenu une compétition à cause de sa valeur marchande. Pour disposer d'un aménagement hydroagricole, il faut d'abord disposer de terrain, à défaut de l'acheter, acquérir les équipements et payer les frais d'installation. Pour que l'opération soit bénéfique, il est important de disposer d'un minimum de superficie de terrain variant entre 1 et 2 ha. Il se pose ainsi pour les individus des problèmes de moyens notamment financiers. Les achats de terrain posent parfois des problèmes de conflits fonciers, soit du fait que les limites sont diffuses, soit par des malversations. L'Etat a fait des expropriations de terre sans des dédommagements adéquats ou conséquents pour procéder à des aménagements hydroagricoles. Il s'est créé des conflits fonciers latents dont les victimes mettent tout en œuvre pour faire échouer des projets.

3 Discussion

3-1 Aménagements hydroagricoles, une résilience des dérèglements climatiques pour une durabilité agricole au Bénin

L'étude a révélé que les dérèglements climatiques constituent les déterminants essentiels des aménagements hydroagricoles au Bénin. Sans dérèglements climatiques les périmètres hydroagricoles n'auraient pas une grande importance pour le développement agricole. En effet, en dehors du désert, les oasis n'existeraient pas et ne joueraient aucune fonction socioéconomique et environnementale. Leurs utilités résident également dans l'alternance de

saisons pluvieuses et de saisons sèches. Ils permettent la production agricole pendant les saisons sèches et de rendre l'agriculture. Il existe une cohérence climatique et géographique qui influe fortement sur la problématique de l'irrigation. Cette relation est confirmée par les travaux scientifiques. En étudiant la distribution des superficies irriguées en Afrique, J. M. Faurès et M. Sonou (1990, p. 1) ont fait observé que cette distribution met en évidence la relation entre le climat et le rôle que joue l'irrigation dans l'agriculture, car en Afrique équatoriale, là où les précipitations sont les plus importantes, l'agriculture pluviale est dominante ; l'irrigation y est pratiquée pour mener à bien les cultures de contre-saison, pour la riziculture, pour sécuriser des spéculations exigeantes en eau, ou sous forme de culture de marais et de bas-fonds. Les aménagements hydroagricoles contribuent au renforcement de la résilience des plus vulnérables aux dérèglements climatiques et à l'insécurité alimentaire. Pour A. Michaud *et al.*, (2012, p.1), il faut le développement d'outils de prédiction hydrologique adaptés à la conception d'aménagement hydroagricole du parcellaire et des cours d'eau en milieu rural qui prend en considération l'évolution récente en lien avec les changements climatiques, des intensités, des durées et des fréquences (IDF) des précipitations.

3-2 Aménagements hydroagricoles, la nécessité de renforcement de leur implantation, efficacité et de la durabilité des investissements pour lutter contre la pauvreté

Les résultats de cette recherche ont montré que les aménagements hydroagricoles présentent plusieurs avantages ou intérêts : l'augmentation de la production agricole, l'amélioration des conditions socioéconomiques, la sécurité alimentaire, la valorisation de la femme, la présence des acteurs privés et publics, etc. Ils ont aussi révélé : l'insuffisance des moyens surtout financiers, le faible aménagement du potentiel hydroagricole, la rareté des aménagements hydroagricoles de grande envergure à cause de leur caractère onéreux. La création des activités génératrices de revenus. A cet effet, les cultures maraîchères, la riziculture ont une plus-value. A l'instar du Bénin, les pays pauvres ont des difficultés à implanter les ouvrages et équipements des aménagements hydroagricoles (J. M. Faurès et M. Sonou, 1990, p. 1). Ils soulignent également que « L'irrigation dans le monde couvrait en 1998, 272 millions d'hectares, soit environ 18% des terres cultivées ; en Afrique, seuls 12,5 millions d'hectares sont irrigués sur un total de 202 millions de terres cultivées, soit 6,2%. La proportion de terres irriguées en Afrique au sud du Sahara est encore plus réduite, puisque seuls 5,2 millions d'hectares, soit 3,3% des terres cultivées sont irriguées. Pourtant, l'irrigation joue un rôle considérable dans la production agricole et la sécurité alimentaire. En moyenne, on estime que les 18% de terres irriguées contribuent pour 40% à la production agricole mondiale » (J. M. Faurès et M. Sonou (1990, p. 5). La maximisation des profits dépend de la multiplication et de l'extension des aménagements hydroagricoles. Pour l'efficacité et la durabilité des aménagements, les projets doivent être respectueux de l'environnement. En étudiant, les impacts des aménagements hydroséculaires de Guiguidou dans la sous-préfecture de Divo en Côte d'Ivoire, J. K. Kotchi *et al.*, (2018, p.1), a montré que « Les bénéficiaires des aménagements hydroséculaires ont eu accès à de nouvelles techniques culturales et l'impact socio-économique est remarquable avec la création d'emplois. Cependant, on relève de nombreuses difficultés liées au foncier, à la gestion interne du projet, qui pourraient compromettre la durabilité de ce modèle de développement local participatif ». Quant à J-F.Bélière (2011, p.1), en analysant les exploitations agricoles familiales du périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali a abouti au résultat selon lequel les zones irriguées sont sujettes à des tensions foncières entre les parties prenantes.

3-3 Aménagements hydroagricoles, des œuvres à intérêts mitigés au Bénin

Une analyse du bilan des aménagements hydroagricoles révèle des impacts positifs et négatifs. En effet, ces œuvres se sont révélés comme des facteurs de développement socioéconomique en augmentant les productions agricoles, halieutiques, pastorales et les revenus des producteurs,

en permettant l'approvisionnement des populations en eau en servant de sites touristiques, écologiques, etc. M. V. Oudang Ouya (1999, p. 2), en étudiant les aménagements hydroagricoles de NIE11-YONE au Sénégal a révélé que ces derniers ont eu des effets écologiques sur le delta du fleuve Sénégal. Il précise que les barrages peuvent assurer un approvisionnement en eau tout au long de l'année. Cependant, dans d'autres parties du delta, en particulier au niveau de ses bordures marginales, certains aménagements mis en place comme les digues ont entraîné la suppression des écoulements de surface vers les zones de dépression. En effet, les aménagements hydroagricoles engendrent également des effets négatifs comme la perte de la biodiversité à travers la déforestation et le massacre de la faune, les risques de pollution des eaux et des sols, la salinisation des terres, les inondations, la prévalence des maladies d'origine hydrique, l'ensablement et le comblement des cours et plans d'eau, etc. Ils sont dans leur ensemble peu respectueux de l'environnement. Quant à la confirmation de la pollution, il importe de se référer à des normes. Par rapport aux normes, il est à retenir que « Parmi les pesticides utilisés par les producteurs, seuls 19 % appartiennent à la liste des produits homologués au Bénin. Les substances actives les plus fréquemment utilisées sont des insecticides tels que l'acétamipride, la lambda-cyhalothrine, le chlorpyrifos-éthyle, l'émamectine benzoate, le profénofos ou la cyperméthrine. Toutes ces substances sont connues pour être toxiques et pourraient avoir des effets néfastes sur la santé après une exposition. Les expositions totales sans équipement de protection individuelle varient de 0,099 à 0,546 mg/kg de poids corporel/jour. Ces valeurs d'exposition dépassent largement les niveaux d'exposition acceptables pour l'opérateur, indiquant un risque potentiel ». Par contre, pour 78, 4% des utilisateurs interrogés, ils confirment répandre les engrais chimiques et les pesticides sans équipements de protection.

Les aménagements hydroagricoles sont confrontés à des problèmes de gestion sur les plans organisationnel et institutionnel. Dans les grandes zones d'aménagements hydroagricoles d'Afrique, qui ont été l'objet d'importantes interventions extérieures et le sont encore, le désengagement de l'Etat et les impératifs de la compétitivité internationale se traduisent aujourd'hui par des transitions difficiles à conduire ; si les ajustements économiques, organisationnels et surtout institutionnels nécessaires ne sont pas effectués dans un avenir proche, les risques de marginalisation des agricultures familiales, à la suite de la dégradation des conditions de production, du fonctionnement des services de l'eau et de la commercialisation des produits agricoles augmenteront (J-C. Devèze et *al.*, 2003, p. 1). Ces problèmes handicapent la croissance des aménagements hydroagricoles. Les principaux facteurs de croissance de la production agricole et des politiques nationales et régionales en matière d'irrigation permet d'établir des projections pour le développement de l'irrigation en Afrique de l'Ouest. Selon la FAO (2015, p. 15), les superficies irriguées ne sont pas appelées à s'étendre de manière considérable ; il est prévu que le taux d'intensification fasse des progrès importants (de 129% en 1996 à 156% en 2030) sous la pression de la demande croissante en produits agricoles. De tout bilan fait, les aménagements hydro-agricoles se sont révélés être l'un des moyens les plus efficaces de valorisation des potentialités agricoles

Conclusion

L'agriculture béninoise est confrontée à la question de la non maîtrise de l'eau pour une agriculture durable. Cette situation se traduit par une insuffisance des aménagements hydroagricoles qui semblent être les solutions aux problèmes agricoles liés à l'eau. Cette recherche a pour objectif d'analyser les problèmes agricoles liés à l'eau et les opportunités qu'offrent les aménagements hydroagricoles pour la durabilité de l'agriculture béninoise. La méthode statistique de Schwartz et le choix raisonné ont servi à la constitution d'un échantillon soumis à un guide d'entretien et à des questionnaires. Une grille d'observation a permis de collecter des données en situation réelle. Les résultats mettent globalement en relief que les

dérèglements climatiques constituent un déterminant essentiel des aménagements hydroagricoles et des piliers de la durabilité agricole. Ils sont insuffisants et à implantation onéreuse insupportable pour le Bénin. Les périmètres irrigués sont des sources de dégradations environnementales variées. Ils constituent une résilience aux dérèglements climatiques pour une durabilité agricole et ont besoin du renforcement de leur implantation, de leur efficacité et de la durabilité des investissements pour lutter contre la pauvreté. Il s'agit des œuvres à intérêts mitigés, mais se sont révélés être l'un des moyens les plus efficaces de valorisation des potentialités agricoles.

Références bibliographiques

- ANGLADETTE André, 1966. « Le riz. Techniques agricoles et productions tropicales », *Les Cahiers d'Outre-Mer* Année 1968 21-82 p. 219
- BELIERE Jean-François, COULIBALY Yacoubou et KONE Yénizié, 2011. « Les exploitations agricoles familiales du périmètre irrigué de l'Office du Niger au Mali : évolutions et perspectives ». *Cahiers Agricultures* 15(6) DOI:10.1684/agr.2006.0024
- BLONDLOT Sébastien Anne, LAGACE Robert et ROCHA Nestor-Raoul, 2012. « Conception des ouvrages hydroagricoles dans un contexte de changements climatiques » *Colloque en agroclimatologie*, 3 p
- CGIAR – Consultative Group on International Agricultural Research-, 2009: *Climate, agriculture and food security: A strategy for change*. Alliance of the CGIAR Centers.
- CHALLINOR Adrew, WHEELER Colman, CRAUFURD Peter, Kassam Amir, 2007: - « Assessing the vulnerability of food crop systems in Africa to climate change ». *Climatic Change*, 83 :381-399. DOI : 10.1007/s10584-007-9249-0
- DEVEZE Jean-Claude, JULLIEN Jean-François et PAPAIZIAN Vatché, 2003. « Grands aménagements hydro-agricoles d'Afrique subsaharienne : poursuivre les évolutions institutionnelles ». Dans *Afrique contemporaine* 2003/1 (n° 205), pp. 193 - 203
- DILLEY Maxx, CHEN Robert, DEICHMANN Uwe, LERNER-LAM Arthur, ARNOLD Margaret, 2005. « Natural disaster hotspots: a global risk analysis ». *Disaster Risk Management Series*, 5, Washington, DC, The World Bank
- EASTERLING William, AGGARWAL Pramod, BATIMA Punsalmaa, BRANDER Keith, ERDA Lin, HOWDEN Mark, KIRILENKO Andre, MORTON John, SOUSSANA Jean-François, SCHMIDHUBER Josef and TUBIELLO Francesco, 2007: Food, fibre and forest products. In *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden, and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, pp. 273-313.
- FAURES Jean-Marc et SONOU Moïse, 1990 : Les aménagements hydro-agricoles en Afrique Situation actuelle et perspectives, PUF, Paris, p.15
- GOUDA Abdoul-Ibrachi, TOKO Ibrahim Imorou, SALAMI Sharaf-Dine, RICHERT Maïté, SCIPPO Marie-Louise, KESTEMONT Patrick et SCHIFFERS Bruno, 2018. « Pratiques phytosanitaires et niveau d'exposition aux pesticides des producteurs de coton du nord du Bénin ». *Cahiers Agriculture*, Volume 27, numéro 6, DOI : <https://doi.org/10.1051/cagri/2018038>
- GIEC, 2021 : *Changement climatique 2021. Les bases scientifiques physiques. Résumés à l'intention des décideurs. Contribution du Groupe de travail au sixième Rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat*, Suisse, 35 p
- KOTCHI Joachim, OUATTARA-COULIBALY Yagnama Rokia et N'GUESSAN Guillaume Kouassi, 2018. « Impact socio-économique de l'aménagement hydro-rizicole de Guiguidou

dans la sous-préfecture de Divo (Côte d'Ivoire) ». *EchoGéo* 43(43).
DOI:10.4000/echogeo.15275

MICHAUD Aubert, DROUIN Ariane, MAILHOT Alain, TALBOT Guillaume, HUARD David, Biner, 2012. « Conception des ouvrages hydroagricoles dans un contexte de changement climatique ». *Colloqu en Agroclimatologies*, Québec, 24 p

Ministère du Cadre de Vie et du Développement Durable (MCVDD), 2021. *Contribution Déterminée au niveau National actualisée du Bénin au titre de l'accord de Paris*, Direction générale de l'environnement et du climat projet d'appui à la mise en œuvre de la CDN du Bénin (projet n° (pn)/18.2105.7-001.09), 74 p

NORDHAUS William and BOYER Joseph, 2000. *Warming the World: Economic Models of Global Warming*. MIT Press. Cambridge Mass., ISBN 0 262 14071 3.

PARRY Martin Lewis, CANZIANI, Osvaldo, PALUTIKOF Jean, van der Linden Paul and HANSON, Clair, (eds.) 2007: *Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. (Contribution du Groupe de travail II au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat)*. Cambridge et New York: Cambridge University Press, 325 p

PNUD, 2004: *Reducing disaster risk: a challenge for development*. UNDP global report, ed. M. Pelling ? Washington, 126 p