Envasement et bilan hydrologique du barrage collinaire de Kadjala dans le nord-ouest du Togo

Siltation and hydrological balance of the Kadjala dam in northwest Togo

[1]BAWA Dangnisso

Résumé

Le barrage de Kadjala, construit entre 1986 et 1987 dans le cadre d'un projet FED est un barrage collinaire de 2,5 ha dont la capacité est d'environ 62 500 m^3. Cet ouvrage en terre est aménagé pour fournir de l'eau aux villageois, au bétail et pour pratiquer les cultures de contre-saison. Malgré la sédimentation et les divers prélèvements, cette retenue présente sur toute l'année un plan d'eau permanent, contrairement à certains barrages collinaires construits dans le nord du Togo. Qu'est-ce qui peut expliquer ce bilan hydrologique du barrage après 36 ans de mise en service ? Pour comprendre le bilan hydrologique du barrage de Kadjala, il était important d'analyser la dynamique hydrosédimentaire de ce barrage à travers l'étude de l'érosion à l'échelle du bassin versant et celle des sédiments corrélatifs dans la cuvette. L'atteinte de cet objectif a nécessité le calcul de la dégradation spécifique, l'analyse de la distribution sédimentaire, l'estimation du volume sédimentaire et l'enquête sociologique pour identifier les usages et faire le bilan hydrologique de la retenue. Les résultats montrent que la dégradation spécifique estimée à 236 t/km^2/an met en mouvement, à l'échelle du bassin versant, une quantité de sédiments égale à 519 t/an soit un volume sédimentaire de 1038 m^3/an. L'épaisseur moyenne des sédiments dans la cuvette égale 1,28 m donne un volume estimé à 32 000 m^3 qui a réduit de 51,2% le volume d'eau du barrage en 36 ans. La réduction annuelle du volume d'eau est de 1,42% et la capacité actuellement du barrage en fin de saison sèche est d'environ 26 990 m^3. Le faible taux de réduction du volume d'eau par sédimentation et le faible volume d'eau prélevé annuellement sont les facteurs qui expliquent la permanence de l'eau dans ce barrage.

Mots clés : Kadjala, Nord-ouest du Togo, Barrage collinaire, Erosion, Sédimentation.

Abstract

The Kadjala dam, constructed between 1986 and 1987 as part of an EDF project, is a 2.5-hectare hillside dam with a capacity of approximately 62,500 cubic meters. This earthen embankment, has been designed to provide water to villagers, livestock, and support off-season cultivation. Despite sedimentation and various withdrawals, this reservoir maintains a permanent water body throughout the year, in contrast to certain hillside dams built in northern Togo. What factors can explain this hydrological balance of the dam after 36 years of operation? To comprehend the hydrological balance of the Kadjala dam, it was essential to analyze the hydrosedimentary dynamics through studying erosion at the watershed scale and examining the corresponding sediments in the basin. The achievement of this objective required the calculation of the specific degradation rate, the analysis of sediment distribution, the estimation of the sedimentary volume, and a sociological survey to identify the uses and assess the hydrological balance of the reservoir. The results reveal that the estimated specific degradation rate of 236 t/km^2/year sets in motion, at the watershed scale, an amount of sediment equivalent to 519 t/year, representing a volume of 1038 m^3/year. The average thickness of the sediment in the basin equals to 1.28 meters yield an estimated volume of 32,000 m^3, which has reduced the water volume of the dam by 51.2% over 36 years. The annual reduction rate of water volume is 1.42%, and the current capacity of the dam at the end of the dry season is approximately 26,990 m^3. The low rate of water volume reduction due to sedimentation and the modest annual water withdrawal volume are factors explaining the continuous water presence in this dam.

Keywords: Kadjala, North-west Togo, Hillside dam, Erosion, Sedimentation.

Introduction

Le problème auquel font face les promoteurs de retenues de barrages est leur envasement qui compromet les objectifs pour lesquels elles sont aménagées. De nombreux auteurs dans les pays du Maghreb (J. ALBERGEL et *al.*, 2004, p. 473) ; A. BADRAOUI et A. HAJJI, 2009, p. 73 ; T. MANSOURI, 2001, p. 132 ; B. REMINI, 2000, p.167) ont relevé ce phénomène d'envasement des retenues et son corolaire de réduction du volume d'eau desdites retenues. En Afrique subsaharienne et plus précisément au Burkina Faso, D. PIQUEMAL (1991, p. 267) signale des cas d'assèchement de retenues de barrages de faible capacité.

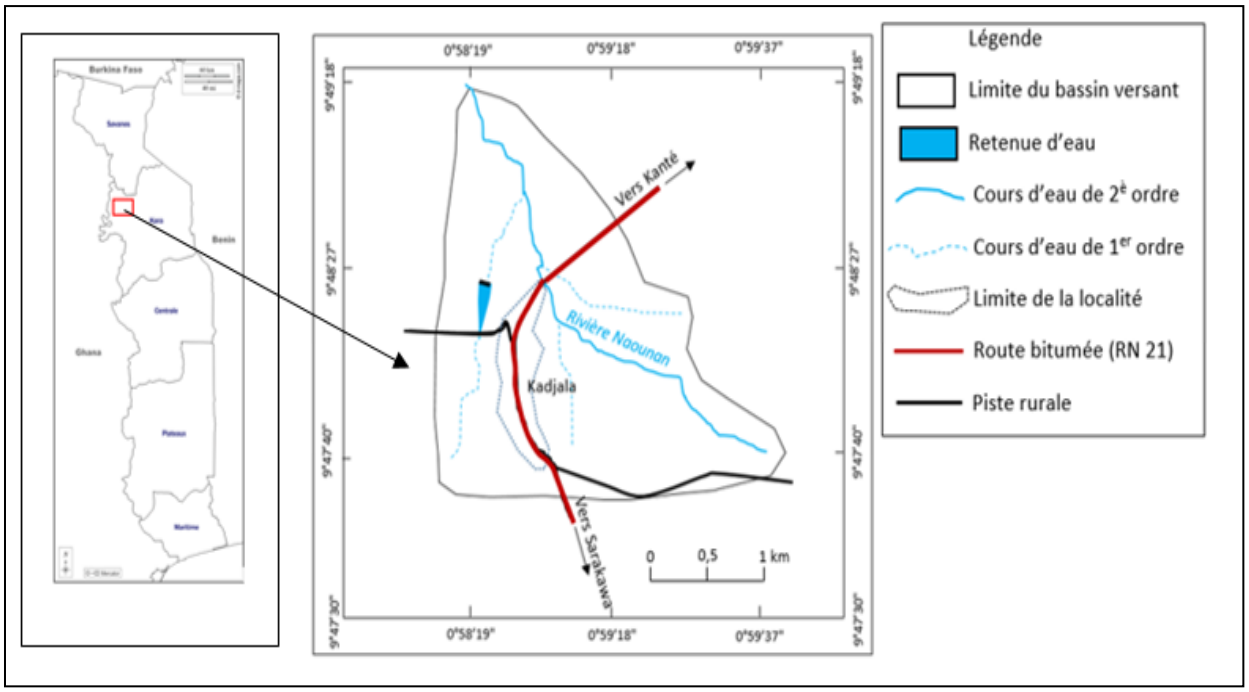
Au Togo, ce phénomène a été étudié par D. BAWA (2012b) et Y. B. TOKO respectivement dans le barrage de la Kozah au nord et dans celui de Kpimé au sud-ouest. Toujours au Togo, D. BAWA (2023) a fait cas de l'assèchement de la retenue de Djapiéni dans l'extrême nord. A contrario, d'autres barrages collinaires au nord du Togo font preuve d'une résilience caractérisée par la permanence d'un plan d'eau durant toute l'année. Au nombre de ces petits barrages figure celui de Kadjala qui fait l'objet de la présente recherche. Bien que localisé dans un cadre géographique aux conditions climatiques quasi-identiques (climat soudanien), la retenue de Kadjala n'est jamais à sec en saison sèche, contrairement à la plupart des retenues prématurément colmatées par les sédiments charriés par les cours d'eau qui les alimentent (L. KANKPENANDJA et al., 2012, p. 325). C'est dans le but de comprendre les raisons de la permanence de l'eau dans la retenue de Kadjala alors que certaines sont à sec que la présente recherche est initiée.

Construite entre 1986 et 1987 par le projet FED, le barrage collinaire de Kadjala est situé dans le nord-ouest du Togo, entre 9° 47' 43.19" et 9°48' 28.06" de latitude nord et 0° 57' 56.18" et 0° 58' 28.76" de longitude est (figure 1). Cet ouvrage hydraulique dont la digue est en terre compactée a une capacité de 62 500 m^3 pour une superficie de 2,5 ha.

Il est destiné à la fourniture d'eau à la population de Kadjala pour les usages domestiques, au bétail et pour le maraîchage. Le cours d'eau sur lequel est construit ce barrage a un régime hydrologique intermittent ; c'est la rivière *Naounan* qui draine un bassin versant de 2,2 km^2.

Le cadre morphologique est une plaine d'altitude moyenne de 250 m qui résulte d'un processus d'aplanissement d'âge Néoprotérozoïque à Mio-pliocène à sa phase d'achèvement (D. BAWA, 2012a, p. 157). Cette plaine est dominée par des collines de forme convexe qualifiées de « dos de tortue » par P. AFFATON (1987, p. 198) et des collines ruiniformes.

Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude



Source : Réalisée à partir d'un fond de carte du Togo et de la carte topographique d'Atalotè au 1/50 000.

La structure géologique de la zone de recherche est une partie septentrionale du synclinorium de Tchatchaminadè (D. BAWA, 2012a, p. 86). Cette structure synclinoriale façonnée dans les schistes de Kanté comporte des structures anticlinales en roches quartzitiques et/ou gréso-quartzitiques et synclinales élaborées dans les schistes. Les failles multidirectionnelles sont les points d'ancrage de cours d'eau saisonniers alimentés par les pluies qui durent 6 mois (mai à octobre) après une saison sèche de même durée (novembre à avril). La température moyenne annuelle est de 28°, les maximas varient de 35 à 38° et les minimas de 18 à 22%.

La végétation est une savane arborée annuellement ravagée par les feux de végétation allumés souvent volontairement par les paysans dans le cadre de la préparation des champs et/ou par les éleveurs pour favoriser la repousse de nouvelles herbes pour leur bétail. Ces activités anthropiques sont à l'origine de la dégradation mécanique des sols qui dans l'ensemble sont des sols ferrugineux. Ils ont un aspect squelettique et pauvres sur l'ensemble de la zone et relativement épais et fertiles sur les topographies en pente faible en l'occurrence en bordure des cours d'eau. C'est ce qui a motivé la construction du barrage de Kadjala dont l'un des objectifs est de permettre à la population de pratiquer les cultures de contre-saison, afin de compenser le manque à gagner dû à l'irrégularité des pluies et à l'appauvrissement des sols.

L'objectif de cette recherche est de faire un bilan hydrosédimentaire de la retenue de barrage de Kadjala, afin de comprendre les raisons qui expliquent la permanence de son plan d'eau dans

un cadre géographique où plusieurs autres retenues sont à sec en saison sèche. Pour ce faire une démarche méthodologique s'est avérée nécessaire.

1. Démarche méthodologique

Pour atteindre l'objectif visé par la présente recherche, une approche méthodologique a été mise en œuvre. Elle est basée sur les travaux de terrain, la collecte des données documentaires, planimétriques et sur le traitement des données recueillies.

1.1. Données de terrain

Les travaux de terrain ont porté sur l'étude de la dynamique érosive, les formes d'occupation du sol, les levés topographiques, bathymétriques et l'enquête sociologique. Ces activités ont été menées à partir d'un matériel spécifique et adapté à chacune des activités.

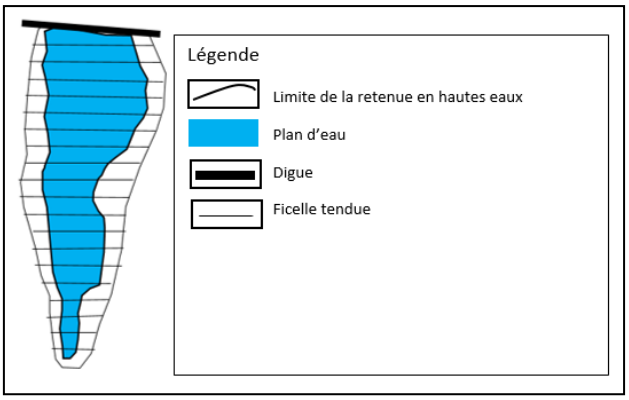
L'érosion à l'échelle du bassin versant a été observée et des incisions mesurées à l'aide d'un décamètre. Le profil des sols a été analysé à partir des coupes le long des incisions et 15 échantillons ont été prélevés pour l'analyse granulométrique au laboratoire. Ce nombre d'échantillons s'explique par la texture des sols calquée sur la nature du substrat qui comprendre trois types de roches. Sur chaque type de roches 5 échantillons ont été prélevés.

Le parcellaire est analysé à travers les techniques de labour en rapport avec la pente topographique. La technique de défrichage tel que l'écobuage, de labour à savoir le buttage et le billonnage et de sarclage sont passées au crible afin d'apprécier l'intensité du travail superficiel du sol.

Les levés topographiques à l'aide d'un GPS ont permis de délimiter les contours de la retenue en période de hautes eaux et de basses eaux. En tout 220 points ont été levés à pas de 10 m, les pentes ont été déterminées à l'aide d'un clinomètre de marque Silver et un appareil photographique a permis de réaliser les photos. La bathymétrie réalisée à l'aide d'un mètre ruban lesté d'un poids de 2 kg en béton a nécessité l'utilisation d'une pirogue. Elle a été faite suivant 19 transects (figure 2) de 80 à 100 m en aval et de 15 à 50 m en amont matérialisés par des mires, afin de déterminer le volume d'eau de la retenue durant la saison de pluies et la saison sèche.

Elle a permis aussi de déterminer l'épaisseur des sédiments après 36 ans de mise en service, d'autant plus qu'aucun suivi n'a été fait auparavant. Au total, 256 points à pas de 5 m ont été levés et 12 échantillons de sédiments prélevés sur la base de leur granulométrie pour analyse granulométrique.

Figure 2 : Schéma de sondage dans la retenue



Source : D. BAWA, travaux de terrain (mars 2023)

L'enquête sociologique a concerné 200 personnes (75 hommes et 125 femmes). Le nombre plus élevé de femmes s'explique par le fait qu'elles sont plus concernées par le problème d'eau dans les ménages en milieu rural. Elle a été faite sous la forme de « focus groups », les hommes formant des groupes de 25, tout comme les femmes, mais séparées des hommes. Ont été concernées par cette enquête les personnes qui résident dans la localité depuis au moins 20 ans. Cette durée de séjours permet d'avoir une population cible qui a utilisé l'eau de la retenue et suivi son évolution sur une longue période.

1.2. Données documentaires et planimétriques

Ces données ont été collectées dans les centres de documentations, les services publics et sur internet. La documentation se compose d'ouvrages généraux traitant des processus d'érosion, de l'hydrologie, de géologie et de pédologie, de thèses et d'articles portant sur l'envasement des barrages. Ces documents ont été consultés dans les bibliothèques de l'université de Lomé et sur internet à partir du moteur de recherche Google.

Les documents planimétriques sont des cartes topographique (carte d'Atalotè à 1/50 000 de 2013) et géologique (carte de Kara à 1/200 000 de 1987) auxquelles s'ajoute l'image Google Earth de 2022. Ils ont permis respectivement de réaliser les travaux de terrain et de circonscrire le bassin versant, de caractériser le cadre géologique et de cartographier les limites de la retenue en saison pluvieuse et en saison sèche.

1.3. Traitement des données

Les données concernées sont : les échantillons de sédiments, de sols, les données d'enquête sociologique, les levés topographiques, bathymétriques et satellites (image Google Earth 2022). Les données ont été traitées par ordinateur à partir de logiciels spécifiques à l'exception de la granulométrie, de la minéralogie et de la densité faites en laboratoire.

1.3.1. Essais de laboratoire : granulométrie, minéralogie et densité

Le traitement granulométrique des échantillons de sols et de sédiments a été fait au laboratoire de l'Institut Togolais de Recherche Agronomique (ITRA). L'analyse granulométrique a consisté à faire passer 100 g d'échantillon à travers une colonne de 17 tamis de 0,003 à 2,5 mm de la série AFNOR (Association Française de Normalisation) placée sur un tamiseur. Les refus de chaque tamis sont pesés et notés sur une fiche en vue de calculer le pourcentage des passants cumulés. Pour les échantillons de sols, une séparation préalable des fines (argile et limons) et des sables a été faite en les passant sous l'eau contenue dans un récipient. La granulométrie de ces échantillons a donc été faite sur la fraction sableuse, tandis que la fraction fine restée dans l'eau ayant servi à séparer les deux fractions a été analysée avec un granulomètre qui a permis de séparer les limons et les argiles. La matière organique éliminée dans les échantillons à l'aide de l'eau oxygénée avant la granulométrie a été aussi déterminée. A partir des différents résultats, des tableaux montrant la granulométrie des sols du bassin versant et le faciès des sédiments dans la cuvette de la retenue d'eau ont été réalisés.

L'analyse minéralogique des échantillons de sédiments et la densité des sédiments ont été réalisées au laboratoire du Département de géologie de l'Université de Lomé. L'objectif de la minéralogie est de déterminer la corrélation entre le faciès des sédiments et celui des roches de la zone et celui de la densité des sédiments est de pouvoir convertir les tonnes en m^3 à l'issue du calcul de la dégradation spécifique.

1.3.2. Données GPS, cartographiques et sociologiques

Le traitement des données GPS qui sont les points pris autour de la retenue en saison sèche et en saison pluvieuse a été fait par ordinateur grâce au logiciel Arc-Gis10.2 en intégrant les points GPS au nombre de 220 dans le système de l'image Google Earth 2022. Cette opération a permis de cartographier des variations spatiales de la retenue au cours de l'année. Le dépouillement et le traitement des données sociologiques sont réalisés à partir du logiciel SPSS (Statistical Package for Social Sciences) version 16.0.

1.3.3. Calcul du volume d'eau et de sédiments

Le calcul du volume d'eau et des sédiments s'est fait sur la base des données bathymétriques. La bathymétrie a permis de déterminer la profondeur moyenne de l'eau et à partir de cette profondeur, le volume d'eau a été estimé en multipliant la hauteur de l'eau par la surface de la cuvette. Le volume sédimentaire a été défini en faisant la différence entre la profondeur moyenne initiale de l'eau et celle mesurée à partir de la bathymétrie.

1.3.4. Calcul de la dégradation spécifique

La dégradation spécifique à l'échelle du bassin versant a été calculée en corrélation avec l'indice d'agressivité climatique de Fournier (1967). Elle est exprimée par la formule suivante :

DS= 27,12 (i)-475,4

Avec DS= la dégradation spécifique et i= l'indice de Fournier

Le traitement des données brutes a permis de sortir des données chiffrées et des cartes. L'analyse et l'interprétation de ces différentes données a débouché sur des résultats présentés dans les lignes qui suivent.

2. Résultats

2.1. Faciès des sédiments dans la cuvette

Les sédiments dans la cuvette du barrage présentent une large palette de particules minérales et de débris organiques. Les particules minérales sont dans l'ordre décroissant les graviers, les sables grossiers, moyens, fins, les limons et les argiles.

La matière organique se présente sous deux formes : sous forme de débris végétaux en décomposition et sous forme polymérisée d'aspect fin. Les sédiments organiques sous forme de débris végétaux proviennent des feuilles et des branches mortes d'arbres qui bordent la retenue. En revanche, les dépôts organiques polymérisés ont pour source les sols érodés où ils formaient le complexe argilo-humique (complexe absorbant) et la décomposition avancée *in situ* des débris végétaux. C'est donc en partie des colloïdes organiques d'origine pédologique libérés par érosion et déposés dans la retenue par charriage hydrique représentant 3% des sédiments fins.

2.1.1. Morphométrie des sédiments et corrélation pétrographique

La fraction grossière des sédiments présente des éléments anguleux, avec parfois des arrêtes acérées. L'indice d'émoussé des graviers est nul à faible et la proportion des graviers à indice d'émoussé faible ne représente que 3% de ces particules. Cet aspect anguleux des graviers est un indicateur d'un charriage sur de courtes distances.

L'analyse pétrographique des sédiments basée sur la composition minéralogique (minéraux prépondérants) révèle qu'ils sont issus des grès-quartzites qui occupent plus des 2/3 du bassin versant, des schistes, des shales et des siltstones (tableau 1).

Tableau 1 : Pourcentage des minéraux identifiés dans les sédiments en fonction de la correspondance pétrographique

Granulométrie	Correspondance pétrographique				
	Grès- quartzites	Schistes	Shales	siltstones	Total
	Minéral prédominant				
	Quartz	Muscovite	Pyrite	Argile	
Particules grossières	75%	16%	6%	3%	100%
Particules fines	12%	22%	13,5%	52,5%	100%

Source : Résultats d'analyse de laboratoire

Le tableau 1 indique que la fraction grossière (graviers, sables grossiers et moyens) provient à 75% de la dégradation des grès-quartzites, à 20% des schistes et 5% de shales. Par contre, les fines (sables fins, limons et argiles) sont issues à 52,5% de siltstones, 22% de schistes, 13,5% de shales et à 12% de grès-quartzites. Les sables fins sont surtout issus des grès-quartzites et des schistes et les limons et argiles des shales et des siltstones.

2.1.2. Distribution sédimentaire dans la retenue

La trame sédimentaire dans la retenue va, dans un ordre décroissant, des particules grossières aux particules fines. Les graviers, les sables grossiers et moyens représentent respectivement 54%, 36% et 10% des dépôts en amont et au droit des ravins. Ces dépôts hétérométriques forment au droit des ravins débouchant dans la retenue une sorte de plage dont l'extension maximale, en période de basses eaux, est d'environ 10 m (photo 1).

Les sables fins sont représentés à 20%, les limons à 38% et les argiles à 42% sur l'ensemble de la cuvette. Ces particules fines se combinent pour donner des vases ou des vases sableuses observables dans la cuvette en période de basses eaux (photo 2).

Photo 1 : Dépôt de graviers et de sables au droit d'un ravin débouchant dans la retenue

Source : Photo prise par D. BAWA en juin 2023

Photo 2 : Dépôt de vases apparent (1) en amont de la retenue

Source : Photo prise par D. BAWA en mai 2023

La présence de poches de graviers, de sables grossiers et moyens d'extension métrique a été relevée dans les vases sableuses à 50 m de l'exutoire du cours d'eau. Ces dépôts non triés de 25 à 30 cm d'épaisseur, situés dans l'axe de la retenue ont une extension variant de 5 à 10 m et une largeur de 2 m environ.

2.2. Dynamique érosive et source sédimentaire

2.2.1. Etats de surface

La zone de recherche est par excellence une zone agricole aux sols de texture variable et couverte d'une savane arborée. Ces états de surface contrôlent la dynamique érosive qui est renforcée par le travail superficiel du sol.

Les types de labour dans la zone sont le billonnage et le buttage. Le billonnage consiste à réaliser des billons à l'aide une daba. Les billons sont séparés par des sillons orientés dans le même sens. Ce type de labour se fait souvent dans le sens de la pente ; ce qui accroît le ruissellement et par conséquent l'érosion, d'autant plus que le sol est ameubli. Le buttage qui consiste à élaborer à l'aide du même outil des buttes concourent aussi à l'ameublissement du sol et à l'érosion. Le sarclage pour débarrasser les cultures des mauvaises herbes participe aussi à l'accroissement de l'érosion. En effet, cette activité qui se pratique en pleine saison de pluies ameubli superficiellement le sol qui s'érode, même lorsque les pluies sont de faibles intensités comme c'est le cas aux mois de juillet et août. Il faut noter que ces deux mois sont caractérisés par des pluies fréquentes qui tombent parfois sans discontinuer.

La nature des sols dans la zone apporte une réponse à la dynamique érosive qui s'y opère. Ce sont des sols rocailleux sur des grès-quartzites qui semblent résulter d'un processus pédogénique de type polyphasique et des sols relativement épais sur schistes, shales et siltstones de composition texturale différente (tableau 2).

Tableau 2 : Granulométrie des échantillons de sols du bassin versant

N° éch.	Granulométrie des sols sur grès-quartzites en %					
	Sables gros.	Sables moy.	Sables fins	Limons	Argiles	Total
1	45	36	13	3,5	2,5	100%
2	43	38	12	4	3	100%
3	37	40,5	15	3,5	4	100%
4	40,5	39	13,3	3	4	100%
5	32	29	24,5	6	8,5	100%
Moy.	**39**	**36**	**15,6**	**5**	**4,4**	**100%**
	Granulométrie des sols sur schistes en %					
	Sables gros.	Sables moy.	Sables fins	Limons	Argiles	
6	10	15,5	17,5	24	33	100%
7	12	14,5	19	22,5	32	100%
8	11,5	13,5	20	21	34	100%
9	10,5	14	19	22	34,5	100%
10	9	13	21	23	34	100%
Moy.	**10,6**	**14,1**	**19,3**	**22,5**	**33,5**	**100%**
	Granulométrie des sols sur shales et siltstones en %					
	Sables gros.	Sables moy.	Sables fins	Limons	Argiles	
11	6	10	24	22	38	100%
12	7,5	9	22,5	21	40	100%
13	8	9,5	21	22,5	39	100%
14	9	10,5	20,5	21,5	38,5	100%
15	8,5	9	22	23	37,5	100%
Moy.	**7,8**	**9,6**	**22**	**22**	**38,6**	**100%**

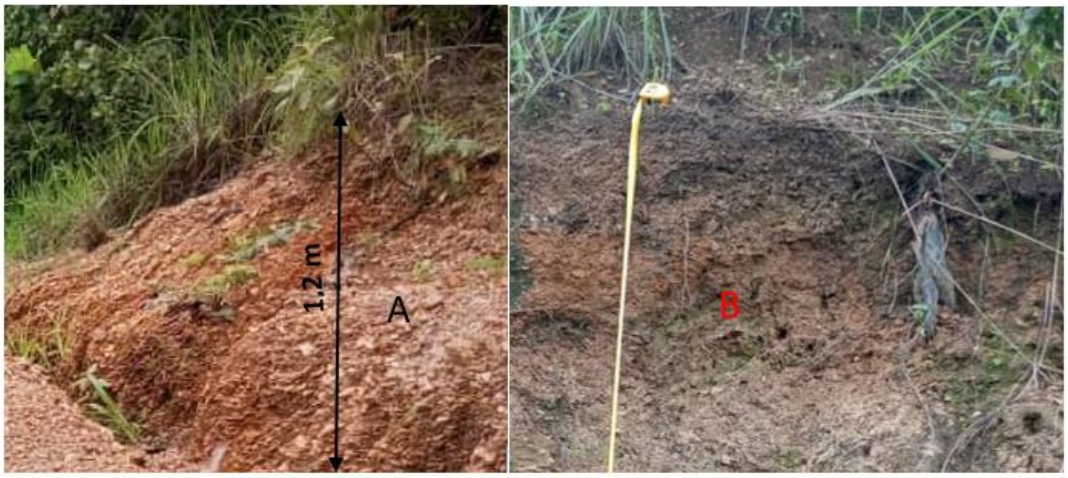
Source : Résultats d'analyse de laboratoire

Le tableau 2 présente la granulométrie des échantillons de sols prélevés dans le bassin versant. Les échantillons sur roches gréso-quartzitiques sont composés en moyenne de 75% de particules grossières (39% de sables grossiers et 36% de sables moyens) et 25% de particules fines (15,6% de sables fins, 5% de limons et 4,4% d'argiles). En revanche sur les schistes, les shales et les siltstones, les particules grossières représentent respectivement 24,7% et 17,4% et les particules fines 75,3% et 82,6%.

Le profil des sols sur grès-quartzites tronqué présente une forte concentration d'éléments grossiers en surface indique une érosion ayant atteint la zone d'altération isovolumétrique caractérisée par les fragments de la roche mère. Les particules fines quasiment absentes semblent être décapées par érosion sélective, contrairement aux sols sur schistes, shales et siltstones (planche 1).

Sur les schistes, les shales et les siltstones, l'abondance des particules fines témoigne de leur composition minéralogique constituée en une grande partie d'argiles.

Planche 1 : Photo A sol sur quartzites **Photo B : sol sur schistes**



Source : Photo prise par D. BAWA en août 2022

La végétation de type savane arborée à strate herbacée très fournie est ravagée annuellement par les feux brousses. Dans ces conditions écologiques, les pluies de fortes intensités qui tombent en début de saison pluvieuse engendrent une érosion sévère, surtout lorsque ces feux de brousse sont tardifs. Car trop sèches, les herbacées brûlent jusqu'aux racines qui sont censées fixer le sol.

2.2.2. Erosion et charriage des sédiments

L'érosion est contrôlée par le ruissellement diffus et concentré définies par l'intensité de la pente. Le ruissellement diffus déclanche une érosion en nappe qui déplace les fines particules en laissant sur place les particules grossières (graviers, sables grossiers et moyens) sur les grès-quartzites et les schistes. Sur les shales et les siltstones, les particules grossières sont rares en raison d'une altération libérant essentiellement de particules fines.

La faible épaisseur des sols et leur aspect rocailleux sur le substrat gréso-quartzitique n'est pas favorable à un ravinement actif actuellement. La quasi-totalité des incisions qui s'y sont imprimées sont séniles et ne jouent que le rôle de convoyage des sédiments (photo 3).

Le ravinement n'imprime des incisions que sur les sols relativement épais sur schistes, shales et siltstones. Les sols sur ces formations lithologiques sont la source des particules fines charriées par les eaux de ruissellement.

La dégradation spécifique est estimée à 236 t/km^2/an et la quantité de sédiments mis en mouvement à l'échelle du bassin versant est de l'ordre 519 t/an. Cette dégradation spécifique génère à l'échelle du bassin versant de 2,2 km^2 un volume sédimentaire de 1038 m^3 (la densité des sédiments étant de 2).

Photo 3 : Ravin sénile inactif

Source : Photo prise par D. BAWA en août 2022

Le charriage des sédiments se fait de trois manières : par roulage pour les graviers, saltation pour les sables grossiers et moyens et suspension pour les fines (sables fins, limons et argiles) qui forment une émulsion avec l'eau. Contrairement aux particules grossières dont une partie se dépose au bas de versant et dans les incisions, les particules fines charriées en suspension arrivent dans leur entièreté dans la retenue. En amont du cours d'eau et au débouché des ravins dans la retenue, la réduction de la valeur de la pente entraine une baisse de la compétence des écoulements qui explique le dépôt en vrac des particules grossières formant des épandages.

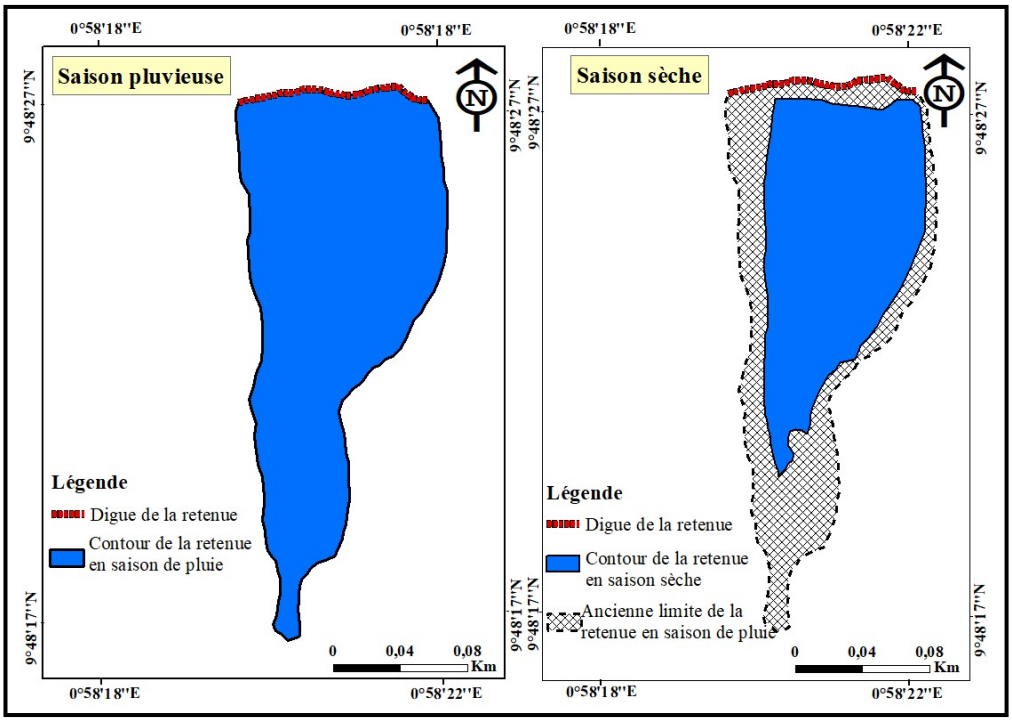
2.3. Budget sédimentaire et bilan hydrologique de la retenue

2.3.1. Budget sédimentaire et impact sur la ressource eau

La quantité de sédiments déposés dans la cuvette est estimée sur la base de l'épaisseur moyenne des sédiments et de la surface envasée de la retenue. L'épaisseur moyenne des sédiments est de 1,28 m sur une surface d'envasement de 2,5 ha. Cela donne un volume sédimentaire égal à 32 000 m^3 sur 36 ans. Le rythme annuel de la sédimentation est d'environ 888,88 m^3. Cette sédimentation a réduit dans les mêmes proportions le volume d'eau de la retenue. Les sédiments occupent 51,2% de la capacité de la cuvette et l'eau 48,8%. Le budget sédimentaire positif a réduit le volume d'eau au rythme de 1,42% par an durant les 36 ans de mise en service. La

réduction du volume d'eau s'observe au niveau planimétrique en fin de saison sèche, lorsqu'on la compare à celle du maximum de la saison pluvieuse (figure 3).

Figure 3 : Variations du plan d'eau de la retenue au cours de l'année en fonction des saisons



Source : Cartographie à partir de l'image Google Earth 2022 et des données GPS de terrain

La superficie de la retenue en saison pluvieuse est de 2,5 ha pour un volume d'eau de 30 500 m^3 lorsqu'on soustrait le volume des sédiments (32000 m^3) de la capacité totale du barrage. En fin de saison sèche, elle n'est plus que de 1,5 ha pour une hauteur d'eau moyenne de 1,70 m. Ce qui correspond de façon nominale à un volume de 25 500 m^3.

2.3.2. Bilan hydrologique lié aux usages

2.3.2.1. Usages domestiques de l'eau

L'eau de la retenue est utilisée pour la lessive, la toilette corporelle et parfois pour la vaisselle. Les activités dévouent aux femmes et aux filles à savoir : la lessive et la vaisselle sont faites le plus souvent au bord de la retenue. L'eau n'est donc pas déplacée et le volume utilisé pour ces usages est déversé dans la retenue. Parfois, la vaisselle est faite à domicile contrairement à la lessive qui est généralement faite dans la retenue. Dans ce cas, l'eau utilisée est celle des forages dont est doté le village. En ce qui concerne l'hygiène corporelle, seuls les enfants et parfois les femmes et filles qui vont à la retenue s'y baignent. La population dans son ensemble se lave à l'eau de forages. Il apparait donc que pour les usages domestiques aucune quantité d'eau de la retenue n'est prélevée.

2.3.2.2. Abreuvement du bétail

L'abreuvement des animaux dans la retenue concerne le gros bétail (bovins). Le cheptel de la zone détenu par des Peuls compte 25 têtes de bovins. Le passage des bœufs à la retenue pour s'abreuve se fait une fois par jour aux alentours de midi. Si l'on considère qu'un bœuf adulte consomme entre 40 et 120 l par jour, avec une moyenne 60 l/j, le volume d'eau moyen journalier ingurgité par le bétail est de 1500 l. Mensuellement et annuellement ce volume représente respectivement 45 000 l (45 m^3) et 270 000 l (270 m^3). Ce volume annuel d'eau correspond en termes de pourcentage à 0,84% de la capacité actuelle de la retenue en dehors de la période de remplissage c'est-à-dire en saison sèche.

2.3.2.3. Prélèvements pour les cultures de contre-saison

Les activités de maraîchage qui s'étendent sur 6 mois de l'année (novembre à avril) sont très marginales. Deux à trois hectares sont emblavés pour produire du gombo (*Abelmoschus esculentus)*, du piment (*Capsicum frutescens*) et autres légumes pour la consommation locale. L'arrosage est manuel et se fait à l'aide d'un arrosoir deux fois par jour. Le volume d'eau utilisé journalièrement pour un hectare est d'environ 2 à 3 m^3 et peut atteindre 5 voire 6 m^3 au mois d'avril et mars marqués par de fortes chaleurs et un stress hydrique prononcé. Pour trois hectares, le volume d'eau journalier, mensuel et annuel est respectivement de 9 à 18 m^3, 270 à 540 m^3 et 1620 à 3240 m^3. Le volume d'eau annuel de moyen de 2 430 m^3 consacré au maraîchage représente 7,96% du volume actuel de la retenue.

En soustrayant du volume d'eau restant suite à l'envasement (30 500 m^3) les différents prélèvements (270 m^3 et 2430 m^3), le barrage de Kadjala conserve en fin de saison sèche un volume d'eau d'environ 27 800 m^3. Ce volume d'eau restant qui permet au barrage de ne pas s'asséché représente 44,48% de la capacité totale de la retenue. L'analyse des pertes en volume d'eau, indique qu'elles sont dues à 92,21% à l'envasement, 7,02% au maraîchage et 0,77% à l'abreuvement du bétail.

3.Discussion

Le bilan hydrologique positif du barrage de Kadjala qui se traduit par la permanence de l'eau dans sa cuvette est lié à une faible sédimentation et à des prélèvements également faibles. Cette faible sédimentation trouve son explication dans la nature des sols définie par la structure géologique de la zone.

L'envasement de la retenue lié à une sédimentation estimée à 32 000 m^3 sur 36 ans a réduit de 51,2% sa capacité. Annuellement, la réduction de la capacité de la retenue est de 1,42%, ce qui correspond au taux de sédimentation annuelle moyen de la retenue. Ce processus d'envasement

a été étudié par L. KANKPENANDJA (2012, p. 323) qui l'a estimé dans la retenue de Naboulpiong à 24 070 m^3 dans l'extrême nord du Togo et par D. BAWA (2012b, p. 219) dans la retenue de la Kozah à 94 270 m^3. Il faut noter que le grand écart entre les valeurs de la sédimentation susmentionnées s'explique par la taille de la retenue et partant celle du bassin versant. En effet, la retenue de Kadjala et celle de Naboulpiong sont de petites retenues collinaires de quelques milliers de m^3 en termes de capacité, tandis que celle de la Kozah plus grande a une capacité de 5 millions de m^3.

La source sédimentaire est l'érosion des sols qui s'opère à l'échelle du bassin versant. La dégradation spécifique estimée à 236 t/km^2/an met en mouvement dans ce bassin versant de 2,2 km^2 une quantité de sédiments équivalent à 519 t/an, soit un volume sédimentaire de 1038 m^3/an. Cette valeur de la dégradation spécifique est nettement inférieure à celles relevées par L. D. KOLANI (2022, p. 107) qui sont en moyenne de 593,23 t/km^2/an dans le bassin versant de la Gambara et de 470,63 t/km^2/an dans celui du Namiélé au nord du Togo. La différence entre la valeur de la dégradation spécifique dans le bassin versant de la zone de recherche et celles des bassins versants de Gambara et Namiélé s'explique par la nature et l'épaisseur des formations pédologiques. A Kadjala, il s'agit de sols rocailleux peu épais, tandis qu'à Gambara et Namiélé ce sont des sols épais de texture sablo-argileuse sur roches granito-gneissiques.

L'envasement annuel étant de 888,88 m^3/an, l'écart entre le volume sédimentaire mobilisé dans le bassin versant (1038 m^3/an) et celui qui arrive dans la retenue indique qu'une partie des sédiments issus de l'érosion est bloqué en amont. Cette rupture dans le transport des sédiments qui sont en fait en transit est qualifiée par J. TRICART (1978, p. 54) de discontinuité temporo-spatiale du flux détritique.

La distribution des sédiments dans la cuvette de la retenue régie par la dynamique hydrologique en lien avec la pente présente à première vue un granoclassement. Au débouché de la retenue qui est le niveau de base de fait, la diminution de l'intensité de la pente hydrologique entraîne une baisse de la compétence du cours d'eau qui abandonne sa charge grossière. Ce même phénomène de dépôt sélectif de sédiments s'observe au droit des ravins qui alimentent latéralement la retenue en eau. A contrario, les particules fines se déposent par décantation dans toute la cuvette parce qu'elles sont en suspension dans l'eau. Ce tri granulométrique est signalé dans les travaux des auteurs comme : B. REMINI (2000), T. MANSOURI (2001), J. ALBERGEL et *al.* (2004), D. BAWA (2012b), L. KANKPENANDJA (2012) et B. KARA et *al*. (2014). Les dépôts grossiers (graviers, sables grossiers et moyens) relevés en site d'accumulation des particules fines peuvent être interprétés comme des marqueurs de crues exceptionnelles. La compétence du cours d'eau dans ces conditions hydrologiques est accrue,

permettant ainsi à la dynamique hydrologique de vaincre la force inertielle des particules grossières en les entrainant plus loin.

Le volume d'eau restant de la retenue suite à l'envasement est utilisé pour divers usages. Annuellement l'eau de la retenue utilisée pour les besoins de la population, l'abreuvement du bétail et le maraîchage ne représente que 7,79% du volume d'eau actuelle de la retenue (30 500 m^3), soit un volume de 2700 m^3. La différence entre ce volume d'eau et le total des prélèvements annuels est de 27 800 m^3 à la fin de la saison sèche. Ce volume d'eau est différent de celui calculé sur la base de la configuration du plan d'eau en saison sèche qui est de 25 500 m^3. La différence qui est de 2 300 m^3 correspondent probablement aux pertes par infiltration et par évaporation. Le bilan hydrologique positif de la retenue de Kadjala s'explique par le volume d'eau restant, contrairement à certaines retenues qui sont souvent à sec en fin de saison sèche (L. KANKPENANDJA et *al*., 2012, p. 325 ; D. BAWA, 2023, p. 91). Au sujet des retenues collinaires souvent à sec en saison sèche, D. PIQUEMAL (1991, p. 260) souligne qu'au Burkina Faso 50 % des plans d'eau des retenues sont à sec dès le mois d'avril, période la plus critique de l'année en termes de stress hydrique. Dans l'extrême nord du Togo, les travaux de D. BAWA (2023) ont porté sur ce même phénomène d'assèchement qui affecte annuellement la retenue d'eau de Djapiéni en saison sèche.

Il faut noter que si le volume des sédiments représentant environ 51,2% de la capacité de la retenue semble important à première vue, il est cependant négligeable à l'échelle d'une année. En effet, les 51,2% de la capacité de la retenue ont été remplacés par les sédiments sur une durée de 36 ans. Ce qui représente un rythme d'envasement annuel de 1,42% soit 888 m^3 de sédiments par an. Ce rythme est largement en dessous de celui estimée par D. BAWA (2012b, p. 91) dans la retenue de la Kozah au nord du Togo qui est de 25% pour un volume sédimentaire de 94 270 m^3 sur 12 ans, soit un volume sédimentaire de 7 855 m^3/ an.

Conclusion

L'envasement d'une retenue en lien avec l'érosion des sols en amont du bassin versant et les différents prélèvements d'eau sont des facteurs qui influent sur son bilan hydrologique. Le bilan hydrologique positif de la retenue de Kadjala s'explique par deux faits :

- Une sédimentation certes importante, mais étalée dans le temps (36 ans). Le faible rythme de l'envasement (1,42%/an) s'explique en partie par l'aspect rocailleux des sols sur lesquels les eaux de ruissellement ne mobilisent que des particules fines au demeurant peu abondantes sur les roches gréso-quartzitiques plus représentatives dans la zone.

- Des prélèvements d'eau modestes dus à des besoins peu importants (faible usage domestique, bétail en nombre très réduit et maraîchage embryonnaire).

Pour minimiser le risque d'assèchement de cette retenue, des aménages antiérosifs doivent être envisagés en amont du bassin versant qui est mis en valeur à des fins agricoles et procéder à un curage préventif de la cuvette remplie à 51,2% de sédiments.

Références bibliographiques

AFFATON Paul, 1987, *Le bassin des Volta (Afrique de l'ouest, une marge passive d'âge protérozoïque supérieur tectonisée au Panafricain ; 600 -+50 Ma).* Thèse de Doctorat ès Sciences en Géologie, Fac. Sci. Tech. St Jérôme Vol. 1 et 2 Marseille, 470 p.

ALBERGEL Jean, MANSOURI Taoufik, ZANTE Patrick, BEN MAMOU Abdellah, ABDELJAOUED Saadi, 2004, « Matière organique dans les sédiments des barrages collinaires en zone méditerranéenne semi-aride de Tunisie », Researchgate, p. 468-478, https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers09-09/010034978.pdf.

BADRAOUI Abdeslam et HAJJI Ahmed, 2009, « Envasement des retenues de barrages ». La Houille Blanche, 87 :6-7, p. 72-75, DOI : 10.1051/lhb/2001073.

BAWA Dangnisso, 2023, « Envasement et dynamique hydrologique du barrage de Djapiéni dans l'extrême nord du Togo », Revue Collection Recherches et Regards d'Afrique, vol. 2, n° 5, p. 91-119, DOI : 10.5281/zenodo.10052925.

BAWA Dangnisso, 2012b, « La dynamique hydrosédimentaire du barrage de la Kozah : un processus vers son colmatage ». Revue de Géographie de LARDYMES, Université de Lomé, N° 9, 6è année, p. 212-226.

BAWA Dangnisso, 2012a, *Le Nord-Togo : géomorphologie et dynamique actuelle des unités du socle Nord-est.* Thèse de Doctorat Unique de Géographie physique, option Géomorphologie, Université de Lomé, 526 p.

FOURNIER Frédéric, 1967, « Factors of Soil Erosion by Water; Research on Soil Conservation in Africa and Madagascar ». African Soils, 12, p. 6-51.

KANKPENANDJA Laldja, GNONGBO Tak Youssif, 2012, « Erosion, risque d'alluvionnement et colmatage des retenues d'eau dans le bassin versant de la Sansargou, Nord-Togo et Sud-Est du Burkina Faso ». Revue de Géographie du Laboratoire Leïdi, N° 10, p. 312-326.

KARA Benyekhlef et NEMDILI Ali, 2014, « Les mesures préventives de lutte contre l'envasement des barrages ». Colloque international sur la lutte contre l'envasement des barrages, p. 1-10.

KOLANI Lamitou-Dramani, 2022, *Changements climatiques et risques hydro-géomorphologiques dans le bassin versant de l'Oti au Togo*. Thèse de Doctorat de Géographie physique (Géomorphologie), Université de Lomé, 227 p.

MANSOURI Taoufik, 2001, *Modélisation spatialisée des écoulements et du transport solide des bassins versants des lacs collinaires de la Dorsale tunisienne et du Cap Bon*. Thèse de doctorat en Géologie, Tunis El Manar, 286 p.

PIQUEMAL Didier,1991, « Inventaire et bilan des retenues d'eau au Burkina Faso ». Cahier d'outre-mer, N° 175, 44è année, p. 259-280.

REMINI Boualem, 2000, « L'envasement des barrages : quelques exemples algériens ». Bulletin du RESEAU EROSION, N° 20, p. 165-171, beep@ird.fr

TOKO Yao Bernard, 2020, *Dynamique hydrologique et sédimentation dans le barrage hydroélectrique de Kpimé au sud-ouest du Togo*. Mémoire de Master, option géomorphologie, Département de Géographie, Université de Lomé, 114 p.

TRICART Jean, 1978, *Géomorphologie applicable*. Edition Masson, Paris, 204 p.

Auteur

[1]Université de Lomé, Département de Géographie, Equipe de Recherche sur les Héritages Géomorphologiques et les Hydrosystèmes, kodjoameya.34@gmail.com