

Caractérisations sédimentologique et paléoenvironnementale du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs (Province du Kwilu/RD Congo)

Sedimentological and Paleoenvironmental Characterizations of the Kakobola Hydroelectrical Power Site and its Surroundings (Kwilu Province/DR Congo)

Ivon NDALA TSHIWISA^{1, 2}, Brich KALANGA KABUYA², Jonathan MUSITU MULIWAVYO², Charles MPIANA KENABABU^{1, 4}, Valentin KANDA NKULA^{1, 5,6}, Clément N'ZAU UMBA-di-MBUDI ^{1, 2,7}

Abstract: The area concerned with this study is the hydroelectric power site of Kakobola and its surroundings. The Kakobola dam is not yet operational even though the construction work is already completed. Previous studies show that those related to the sedimentological aspects are not carried out yet. The main objective of this article is to present a granulometric and morphological characterization of the study zone. The interest is to establish a paleoenvironmental reconstruction of the sediments in order to deduce their close or remote origin from it, and better understand the occurrence of sand under the soft sandstones and its use in concrete for the site infrastructures. The methodology is laboratory based grain size and morphological analyses. Data processing was carried using granulometric indices fused with morphoscopic and diagrams of So-Sk, K-Sk, So-Average of Friedman and Mandelevium-Sk of Moiola and Weiser analyses. The results show that the sedimentological facies observed on the surface are in majority made up of silty sand particles. The diagram of Friedman informs that the sediments are brought by running waters, whereas that of Moiola and Weiser reveals that the sediments are of continental origin. The morphoscopic analysis enabled the appreciation of the allochthonous character of the sediments. The latter are mainly rounded to sub-rounded testifying a rather considerable transport of the grains by water. The mode of displacement is rolling, showing a rather strong hydrodynamic energy.

Keywords: power plant, Hydroelectric, Kakobola, Paleoenvironmental, Sedimentology.

Résumé: La zone concernée par cette étude est le site d'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs. Le barrage de Kakobola n'est toujours pas opérationnel alors que tout a été déjà construit. Les études antérieures montrent que celles liées à l'aspect sédimentologique ne sont pas encore effectuées. L'objectif principal de cet article est de réaliser une caractérisation granulométrique et morphoscopique de ladite zone. L'intérêt est d'établir une reconstitution paléoenvironnementale des sédiments afin d'en déduire leur origine proche ou lointaine, et une meilleure compréhension de l'occurrence du sable en dessous de grès tendres et son utilisation dans la fabrication du béton des infrastructures du site. La méthodologie est basée sur des analyses granulométriques et morphoscopiques en laboratoire. Le traitement des données s'est fait grâce à des indices granulométriques, à des analyses morphoscopiques et à des diagrammes de So-Sk, K-Sk, So-Moyenne de Friedman et de Md-Sk de Moiola et de Weiser. Les résultats montrent que les faciès sédimentologiques observés en surface sont en majorité composés de particules sablo-limoneuses. Le diagramme de Friedman renseigne que les sédiments sont apportés par les eaux courantes, alors que celui de Moiola et Weiser révèle que les sédiments sont d'origine continentale. La morphoscopie permet d'apprécier le caractère allochtone des grains. Ces derniers sont majoritairement arrondis à subarrondis témoignant d'un transport assez considérable par l'eau. Le mode de déplacement est le roulage et est la signature d'une énergie hydrodynamique assez forte.

Mots-clés : Aménagement, Hydroélectrique, Kakobola, Paléoenvironnement, Sédimentologie.

¹Département des Géosciences, Faculté des Sciences, Université de Kinshasa, RD Congo.

² Doctorant, Groupe de recherche Géo-Hydro-Energie, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo, Adresse mail : <u>Ivon.ndala@unikin.ac.cd</u> et <u>Ivon.ndala@gmail.com</u>

³ Chercheur associé, Groupe de recherche Géo-Hydro-Energie, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo, Adresse mail : <u>musitujosephjo@gmail.com</u>

⁴ Professeur Ordinaire (décédé), Laboratoire de Sédimentologie et Géologie des terrains superficiels, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo

⁵ Professeur Ordinaire, Laboratoire de Géologie des Argiles, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo

⁶ Directeur Général, Centre de Recherches Géologiques et Minières (CRGM), 44 Avenue de la Démocratie, Commune de la Gombe, Kinshasa, RD Congo, Adresse mail : <u>valentin.kanda@crgm.cd</u>

² Professeur, Groupe de recherche Géo-Hydro-Energie, Mention Géosciences, Faculté des Sciences et Technologies, Université de Kinshasa, B.P. 190 Kinshasa XI, République Démocratique du Congo, Adresse mail : <u>clement.mbudi@unikin.ac.cd</u>

⁷ Doyen, Faculté Polytechnique, Université d'Etat Président Joseph Kasa-Vubu, B.P. 314 Boma, Kongo Central, République Démocratique du Congo, Adresse mail : <u>clementmbudi@gmail.com</u>.

INTRODUCTION

Les analyses granulométriques et morphoscopiques sont très importantes dans la description des roches sédimentaires (DEGAICHIA, 2014) et permettent de déduire les mécanismes de transport et de dépôt (INMAN, 1952; FOLK ET WARD, 1957), PASSEGA (1957, 1964), VISHER (1969), FRIEDMAN (1979) et BOGGS (2006).

Le barrage de Kakobola n'est toujours pas opérationnel alors que l'essentiel du travail a été déjà fait. Cependant, les études antérieures montrent que certaines études liées à l'aspect sédimentologique n'ont pas encore été effectuées.

Dans la plupart des cas, les méthodes développées pour une étude sédimentologique sont basées sur l'analyse des courbes cumulatives, des histogrammes et des courbes des fréquences, construites à partir des pourcentages des classes granulométriques retenues. Ces données brutes ne peuvent être utilisées avec intérêt que dans l'interprétation des résultats qu'après les calculs des quelques paramètres numériques et statistiques. Plusieurs sédimentologues ont suggéré et adopté ces différents paramètres dont WENTWORTH (1926) a proposé surtout sa méthode des moments ; TRASK (1930) a lancé sa méthode des quartiles ; qui s'intéressent de la partie centrale du sédiment; KRUMBEIN (1936) a utilisé les quartiles mesurés dans la description et comparaison des sédiments ; BIETLOT (1941) a évalué les indices granulométriques d'une façon purement graphique ; RIVIERE (1952) a représenté graphiquement l'évolution granulométrique des sédiments meubles ; FOLK et WARD (1957) ont contribué d'une facon incontestable dans la quantification des phénomènes sédimentologiques; PASSEGA (1964) a tracé un célèbre diagramme pour déterminer les milieux sédimentaires; FRIDMAN (1967) a combiné entre plusieurs coefficients sédimentologiques afin de connaitre les conditions de dépôt sédimentaire ; VISHER (1969) a utilisé l'échelle de probabilité dans le but de bien individualiser les stocks granulométriques et les modes de transport ; BERTHOIS (1970) a essayé d'améliorer les techniques d'analyse granulométrique ; BULL (1977) a tracé son diagramme de détermination des milieux des dépôts fluviatiles et de cônes alluviaux.

En considérant les études susmentionnées, nous estimons qu'une étude sédimentologique de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs s'avère nécessaire pour améliorer les connaissances à l'échelle de son étendue.

Ainsi une caractérisation granulométrique et morphologique de ladite zone est primordiale. L'intérêt de cette étude est d'établir une reconstitution de l'histoire des sédiments, l'identification du paléoenvironnement sur base de la caractérisation granulométrique, des corrélations entre différents indices granulométriques à l'aide des diagrammes de FRIEDMAN (1962), de MOIOLA et WEISER (1968), de PASSEGA (1957) et la morphoscopie des grains. Cette étude permet aussi de mieux comprendre la position du sable trouvé en dessous de grès tendres et de caractériser ce sable utilisé comme agrégat du béton des infrastructures du site d'aménagement hydroélectrique. Elle est supportée par une recherche portant sur la caractérisation des grès cénozoïques du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs par diffraction et fluorescence X. Dans cette optique, plusieurs graphiques ont été établis, et des paramètres granulométriques étaient calculés et brassés convenablement.

ZONE D'ETUDE

L'aménagement hydroélectrique de Kakobola se trouve dans la cuvette Centrale (KADIMA, 2011), précisément dans la province de Kwilu au SW de la RD Congo (Figure 1). Il est situé à 70 km au Sud-Sud Est de la ville de Kikwit et à 790 Km Est-Sud-Est de la ville de Kinshasa (CORETI, 2008). Le projet de Kakobola est de 10,5 MW avec 3 unités de 3,5 MW chacune. Ce barrage est le premier et l'unique à être construit dans cette province depuis la colonisation. Il pourra alimenter trois villes : Kikwit, Gungu et Idiofa ((MBANGILWA et LUSILU (2015) ; KATUKU et MBOYO (2017) ; MBONGO et KAPITA (2019)). C'est un petit barrage de type poids déversoir (NDALA, 2017).

METHODOLOGIE

Dans le but de caractériser les différents aspects granulométriques notamment la reconstitution du paléoenvironnement et le mode de transport ainsi que les aspects morphoscopiques, nous avons récolté sur le site de Kakobola et ses environs un certain nombre d'échantillons dont dix-huit seulement ont été retenus pour cette étude. Une représentation cartographique du site d'échantillonnage est reprise par la figure 2.

Hormis, l'étape de la documentation, le présent travail passe par les différentes étapes de recherches ci-dessous :

Etape de terrain

Dans le but de concilier les informations issues de l'étape de la documentation, nous avons effectué une descente sur le terrain afin de réaliser une validation basée sur les observations essentiellement du secteur sous étude.



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



Figure 2 : Carte d'échantillonnage des sols

Devant un affleurement de sol meuble, les différentes opérations ci-dessous ont été effectuées: la prise des coordonnées géographiques ; la prise de la photo ; la prise d'un échantillon représentatif de sol ; et une brève description macroscopique. Pour ce faire, les équipements suivants ont été utilisés : un GPS de type Garmin pour la prise des coordonnées géographiques servant dans la localisation ; des emballages pour la conservation des échantillons prélevés ; un PVC utilisé pour l'échantillonnage de sol en l'enfonçant à une certaine profondeur afin de récolter un échantillon représentatif, jusqu'à environ 50 centimètres ; des carnets et marqueurs pour la prise des notes ; et d'un appareil photo numérique pour la prise des images (Figure 3). Ces échantillons ont été par la suite utilisés au laboratoire pour déterminer les fractions granulométriques et pour l'analyse morphoscopique.



Figure 3 : Echantillonnage des sols secs (A et B) et humides (C et D).

Etape de laboratoire

Cette étape concerne les différentes analyses et traitements réalisés sur les sols et sédiments récoltés sur le terrain afin d'aboutir aux résultats sur lesquels se portent les interprétations permettant ainsi d'apporter une contribution sédimentologique dans la zone sous étude.

Au laboratoire de sédimentologie du Département de Géosciences de l'Université de Kinshasa (UNIKIN), une colonne de 8 tamis superposés selon un ordre de grandeur pour filtrer respectivement le sable grossier, moyen et fin, mais aussi les limons était sélectionné suivant la norme AFNOR. Le travail de tamisage et de filtrage s'est effectué grâce à un oscillateur granulométrique de type FRITSCH. La balance électrique nous a servi pour peser la masse contenue dans chaque colonne de tamis dite refus, après chaque séance d'agitation. Les analyses statistiques et indices numériques nous ont permis de traiter les résultats obtenus sur la granulométrie. Les paramètres suivants : les déviations des quartiles ($\Delta \varphi$), l'indice de tri ou classement ou « Sorting – Index » de Trask (So), le coefficient d'asymétrie (Sk), l'angulosité (k), la taille moyenne (T_m) et l'écart-type ou déviation standard (σ) nous ont servis à l'interprétation des courbes, à la caractérisation des sédiments ainsi qu'à la reconstitution du paléoenvironnement. Ces paramètres statistiques ont été obtenus grâce aux logiciels Python (module matplotlib), Gradistat, Sine qua non et Excel. Les mêmes outils ont été utilisés pour générer les courbes cumulatives de la granulométrie. La dispersion des points permet de mettre en relation la granulométrie et le paléoenvironnement de dépôt des sédiments. Le diagramme de PASSEGA (1957) nous a permis de déterminer le

mode de transport des sédiments et les Diagrammes K-Sk de Friedman et Mz-Sk de Moiola et Weiser ont aussi été utilisés pour caractériser les sédiments du point de vue paléoenvironnemental.

Quant à l'analyse morphoscopique, elle a été réalisée à l'aide de la loupe binoculaire, de grossissement 8 fois, sur la fraction légère (0,250 – 0.160mm) dans le même laboratoire. L'objectif de cette étude est de caractériser la forme des grains de quartz et la provenance de sables (TRASK, 1930 ; CAILLEUX, 1942 ; CAILLEUX et al., 1959 et TRICART et al., 1959). La préparation a consisté à : sécher les échantillons des sédiments dans l'étuve avec une température de 40 ° C pendant 24h ; tamiser l'échantillon de sols qui en résulte avec un tamis de 500 μ m ; récolter ensuite les grains de sable retenus par ce tamis (dont le diamètre est \geq 500 μ m), pour l'observation à la loupe binoculaire. Les résultats issus de la loupe binoculaire ont été capturés au moyen d'un appareil photographique d'un smartphone.

Etape d'interprétation et discussion :

Après des analyses et traitement de données collectées, nous sommes passés à l'étape de l'interprétation et discussion pour donner une signification sédimentologique à tous les résultats obtenus. A partir des données rigoureusement traitées, il était question d'émettre ici notre point de vue suivant les normes requises dans toutes les approches abordées dans ce travail.

RESULTATS

Caractéristiques granulométriques des sédiments

Les faciès lithologiques du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs sont en majorité composés de sables.

Nos analyses des courbes de fréquences (Figures 4), Histogrammes de sédimentation (Figures 5) et par tamisage (Figures 6) montrent que les sédiments proviennent d'une seule source à l'exception d'un échantillon dont l'analyse révèle deux sources de provenance des sédiments.



Figure 4 : Courbes de fréquences de nos échantillons A : KM01 ; B : KM02 ; C : KM03 ; D : KM04 ; E : KM09; F : KM210; G : KM229 et H : KM233



Figure 5 : Histogrammes de sédimentation de nos échantillons A : KM01 ; B : KM02 ; C : KM03 ; D : KM04 ; E : KM09; F : KM210; G : KM229 et H : KM233



Figure 6 : Histogrammes par tamisage de nos échantillons A : KM01 ; B : KM02 ; C : KM03 ; D : KM04 ; E : KM09; F : KM210; G : KM229 et H : KM233

Paléoenvironnement des sédiments de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola : milieu et mode de dépôt

L'alternance des faciès de textures différentes de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola côté de la rive gauche est mise en évidence par la figure 7. Elle permet aussi d'observer la lithostratigraphie des sédiments sur une partie de la zone d'étude. La figure 8 établit une lithostratigraphie des faciès de la rive droite dudit aménagement.



Figure 7 : Lithostratigraphie des faciès de l'aménagement hydroélectrique de la rive gauche



Figure 8 : Lithostratigraphie des faciès de l'aménagement hydroélectrique rive droite

Elle reflète la nature tendre des faciès qui affleurent : sables jaunes et latérites. Les deux premières couches sont formées de sables et de la cuirasse ferrugineuse. La couche sableuse est constituée d'un mélange de diverses espèces minérales comme l'aluminium et le fer. Ces particules forment des agrégats qui délimitent une zone poreuse où on observe de grandes cavités dont les caractéristiques sont fonction de la répartition de la matière rocheuse (texture) et de l'agencement des matériaux (structure). Sa capacité d'infiltration est

relativement importante du fait de sa texture grossière et de sa structure fragmentaire (SOW et al., 2018). Sur la partie inférieure de l'image (figure 8) on voit l'affleurement de la cuirasse. Cette cuirasse est à l'origine ferrugineuse, et constituait un revêtement sommital dur dont les processus diagenétiques ont été influencés par l'oxydation du fer dans une alternance d'épisodes morpho-climatique tropicale. Son démantèlement a entrainé la mise en place des éboulis dans différents endroits le long du canal de déviation comme le témoigne la figure 9.



Figure 9 : Eboulis sur une partie du canal de déviation côté rive droite de l'aménagement hydroélectrique

La superposition des couches de cette série sédimentaire d'origine continentale, permet d'établir une échelle de résistance pour apprécier la résistance géomécanique de ces affleurements. La résistance est liée à la cohésion, à la solubilité et à l'homogénéité de la roche.

Les analyses des courbes granulométriques des sédiments permettent de mieux comprendre les caractéristiques des sédiments des couches de cette série sédimentaire (Figure 10).



Figure 10 : Synthèse des courbes granulométriques des sédiments prélevés dans la zone d'étude

Les courbes semi-logarithmiques des sédiments de la zone d'étude ont une allure quasi- hyperbolique. Elles sont caractéristiques des zones continentales calmes où toute particule apportée par l'eau est définitivement bloquée à la suite d'un ralentissement de la vitesse du flux hydrique en transit. Il s'agit ici des faciès de décantation dans des unités morphologiques fonctionnant comme des zones de collecte d'eau de ruissellement (ravins), et par conséquent des pièges de sédiments ; en plus d'une petite fraction de limons. Nous avons donc affaire à des sables-limoneux.

Les diagrammes So-Sk, K-Sk, So-Moyenne de FRIEDMAN (Figure 11), et ceux So-Md de MOIOLA et WEISER (Figure 12), ont été utilisés pour déterminer l'origine des sédiments du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs.



Figure 11 : Diagrammes So-Sk, K-Sk, So-Moyenne de Friedman des sédiments de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs.



Figure 12 : Diagramme Mz-Sk de Moiola et Weiser des sédiments de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs.

L'analyse des diagrammes So-Sk, K-Sk, So-Moyenne de Friedman, montre que les sédiments de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs sont intégralement apportés par les eaux courantes issues des rivières.

Quant aux diagrammes Md-Sk de Moiola et Weiser, ils confirment les apports en provenance des environnements continentaux. L'apport par les eaux courantes des sédiments de la zone d'étude, se justifie par le fait que le débit de pointe des eaux peut théoriquement augmenter, soit par une augmentation du coefficient de ruissellement, ou bien d'une modification de la configuration des précipitations en son sein. Dans ce dernier cas, deux hypothèses peuvent être avancées (SOW, 2020). Soit il y a une augmentation de la durée de la pluie, ce qui peut entraîner une amplification des flux d'eaux ruisselants en continu plus qu'avant suite à la longue distance de connectivité entre la ligne de partage des eaux et les talwegs des axes hydrauliques (ravins), soit il y a une augmentation de l'intensité des pluies de pointe. L'hypothèse d'une production conjointe de ces deux cas de figures n'est pas à exclure.

L'accroissement des coefficients de ruissellement engendre une alternance des processus d'érosion et de sédimentation, justifiant ainsi le transport par les eaux courantes des sédiments de la zone sous d'étude. L'organisation des écoulements dans le bassin du Congo varie en fonction des sections du bassin.

Mode de transport

Le diagramme de PASSEGA (1964) nous a permis à déterminer le mode de transport des sédiments (Figure 13). Après avoir tracé le graphique des centiles en fonction des médianes des échantillons sélectionnés pour l'analyse granulométrique, nous nous rendons compte que tous les sédiments tombent dans le pattern PQ indiquant un mode de transport des grains par roulage essentiellement de la zone source vers le bassin de sédimentation.



Figure 13 : Diagramme de Passega (1964) montrant les résultats de la zone d'étude.

Analyse morphoscopique

L'étude morphoscopique des sables du site de Kakobola et ses environs, montre (Figure 14) qu'ils sont riches en grains de quartz de forme émoussée luisant (entre 60 et 80%), suivie par la forme mat (10 à 20%) et enfin des quartz de forme arrondies (5 à 15%). Ceci traduit un mode de transport des grains dans un milieu aquatique, favorisant leur aspect luisant et usé tout au long de la distance parcourue.



Figure 14 : Analyse morphoscopique des échantillons KM05, 09, 210 et 229.

D'une manière générale, les échantillons des sables sont constitués d'un brassage des grains émoussés, luisants et mats, de forme généralement subarrondie à subanguleuse. Cette forme met en évidence un transport assez long.

DISCUSSION

Les travaux des auteurs tels que FRIEDMAN (1962), MOIOLA et WEISER (1968), FOLK et WARD (1975), TOSSOU (2019), et SOW (2020) mettent en évidence le lien intrinsèque qui existe entre le paléoenvironnement sédimentaire d'un milieu et la caractérisation sédimentaire par granulométrie.

L'analyse granulométrique des sédiments de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs montre une prédominance de la fraction sablo-limoneuse. Selon MOGUEDET (1977) et BOULVAIN (2013), le grain moyen exprime la force du courant à l'origine du transport des particules. En d'autres termes, la diminution du grain médian marque un gradient énergétique décroissant dû à la diminution de la compétence de l'agent de transport.

D'après les diagrammes de FRIEDMAN (1962) et MOIOLA ET WEISER (1968), la combinaison des indices granulométriques revêt une grande signification paléoenvironnementale, et permet de distinguer des sédiments en provenance de sources différentes. Selon MOIOLA et WEISER (1968), la combinaison entre le diamètre moyen (Mz) et l'asymétrie (Sk) permet de faire la distinction entre les sédiments des environnements marins et continentaux. Alors que le rapport entre Mz et le classement (σ \$) est plus significatif pour la discrimination de l'enrichissement par mode de transport des sables apportés par des eaux courantes. A cet effet, ces indices granulométriques ont montré les ressemblances et différences qui peuvent exister dans les caractéristiques sédimentologiques des différents échantillons.

Le caractère luisant des grains témoigne d'un mode de transport aquatique (ETCHE et al., 2010) alors que ceux qui sont mats témoignent d'un déplacement des sédiments par la voie éolienne. La proportion des grains mats est non négligeable dans la plupart des échantillons analysés (3/4), cependant nous pensons que le moyen de transport principal des sédiments reste l'eau. D'après MORTLAND (1946), cité par TSHIDIBI (1986), une forte période d'aridification avait précédé le dépôt des grains de quartz des grès polymorphes, cela pourrait expliquer la présence des grains mats.

L'étude paléoenvironnementale des sédiments a révélé des origines continentales détritiques dominées par des sables-limoneux qui jonchent la zone d'étude. Les sédiments sont intégralement apportés par les eaux courantes. L'asymétrie reflète davantage le milieu de dépôt que les conditions de transport (TISSIERES, 1990 ; CHAMLEY, 2000 ; LOSSON ET CORBONNOIS, 2006).

Les conditions de dépôt peuvent aussi influencer sur le classement des sédiments (KABAMBA et al., 2018). Un bon classement des sédiments suppose que le niveau énergétique de l'agent de transport est régulier ou constant au cours du transport des sédiments, donc un mauvais classement ferait penser à un niveau énergétique irrégulier et variable (CHAMLEY, 2000 ; LOSSON et CORBONNOIS, 2006 ; ETCHE et al., 2010). Les valeurs d'indices de classement de la zone d'étude dénotent de manière générale une régularité du courant, d'où le bon classement de grains.

Comparativement aux études réalisées par KABAMBA et al. (2018) sur les dépôts sableux de lits des rivières de Kinshasa, qui dénotent dans l'ensemble l'existence d'une seule source des sédiments à l'origine de ces dépôts et que le faciès caractéristique est représenté par le sable moyen. Ces dépôts, de toute évidence récents, ont été mis en place par un courant régulier modérément fort et qui confère à ces dépôts le caractère fluviatile. Ce dernier est attesté par une distribution mésokurtique de courbes de fréquence, une asymétrie vers les grains fins et un classement bon à assez bon des grains. L'affinement progressif et le bon classement des grains sont vérifiés par la corrélation positive observée entre le grain moyen et l'indice de classement.

Nous remarquons une similitude des résultats du point de vue paléo-milieu entre les études réalisées au Sénégal par SOW et al. (2020) et celles réalisées sur le site de l'aménagement de Kakobola et ses environs. La présence des éboulis observés sur le long de l'axe du canal de déviation est déjà une manifestation à travers l'affleurement de la cuirasse ferrugineuse, devenue gravillonnaire au fil des évolutions diagenétiques. Les résultats de MAIGNIEN (1956, 1958) et de MILLOT (1964) sur ladite cuirasse suggèrent une migration latérale du fer lessivé à l'amont et précipité à l'aval, dans des conditions oxydantes, provoquant ainsi sa concentration dans la partie supérieure des profils latéritiques. Elle a ensuite subi selon MICHEL (1973), un transport avant d'être cimentée sur le lieu d'épandage. Le tout se déroule dans un milieu tropical humide, mais à saisons contrastées dans le long terme. La présence de graviers dans certains endroits du bassin atteste l'importance de la morphodynamique hydrique par ravinement, car le déplacement de ces individus granulométriques nécessite une force mécanique considérable. Les débits solides en transit fonctionnent par ailleurs comme abrasifs en modes de transport par roulage et par saltation (SOW, 2018).

CONCLUSION

Tout au long de cette étude, nous avons réalisé une caractérisation sédimentologique par granulométrie et morphoscopie dans l'optique de rétablir le contexte paléoenvironnemental des sédiments du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et ses environs. L'intérêt de cette étude est de comprendre la position du sable en dessous de grès tendres et caractériser ce sable utilisé comme agrégat du béton des infrastructures du site d'aménagement hydroélectrique.

La méthodologie est fondée sur un échantillonnage et des analyses granulométriques ainsi que morphoscopiques au laboratoire, suivi d'un traitement statistique des résultats. Ces investigations montrent dans l'ensemble une prédominance de la fraction sablo-limoneuse. Les sédiments sont issus du domaine continental. Ces sédiments sont transportés par les eaux courantes (de ravinement et de rivière).

Quant à l'analyse morphoscopique, elle nous a permis d'apprécier le caractère allochtone des sédiments. Ces derniers contiennent des grains qui sont majoritairement arrondis à subarrondis témoignant un transport assez considérable des grains par l'eau, dépourvus de toutes les angulosités suite aux différents chocs accumulés durant leur parcours.

Le mode de déplacement est le roulage (hydrique et éolien) montrant une énergie hydrodynamique assez forte. Cette situation paléoenvironnementale de la région d'étude est à l'origine de sa forte dynamique structurale, marquée par une activation de la morphodynamique hydrique par ravinement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIETLOT A. (1941). Méthodes d'analyses granulométriques-application à quelques sables éocènes belges-Mém.Soc.Géol. de Belgique – 64, 2-:79-169.
- BOGGS S., (2006). Principles of Sedimentology and stratigraphy, 4th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ. 612p.
- BOULVAIN F. (2013). Une introduction aux processus sédimentaires (Pétrologie sédimentaire), Département de Géologie, Faculté des Sciences, Université de Liège, Belgique, 137 P., cours inédits/ (15/09/2013).

BULL WB (1977). The alluvial-fan environment. Progress in physical geography 1, (2): 222-270

- CHAMLEY H. (2000). Bases de sédimentologie, Sciences Sup, cours de 2è cycle/ Master, Ed. Dunod, Paris, 178 P.
- CORETI (2008). Avant projet détaillé (volume A: description de l'aménagement du site hydroélectrique de Kakobola).
- DEGAICHIA A. & LAOUAR R., (2013). Sédimentologie et paléoenvironnements du Pliocène du fossé d'effondrement de Tébessa (Atlas saharien oriental, Algérie). *Bulletin du Service Géologique National*, 24 (3), : 189_207.
- ETCHE A., MONDE S., YAO N. & AKA K., (2010). Analyse sédimentologique et diffractométrique des sédiments superficiels de la lagune Digboué de San Pedro (Côte d'Ivoire), *European Journal of Scientific Research*, ISSN 1450-216X, , 4: 527-540. http://www.eurojournals.com/ejsr.htm (consulté en février 2013).
- FOLK R. L.,& WARD W. C., (1957). Brazos River bar : a study in the significance of grain size parameters. Journal of Sedimentological Petrology, 27: 3-26
- FRIDMAN GM, (1967). Differences in size distributions of populations of particles among sands of various origins. *Sedimentology*, 26 (1) : 3-32.
- FRIDMAN GM, (1967). Dynamic processes and statistical parameters compared for size frequency distribution of beach and River Sands-*Journ. Sed. Petrol* –37- 2-: 327-355.
- FRIEDMAN G. M., (1962). Comparison of moment measures for sieving and thin-section data for sedimentary petrological studies. *Jour. Sedim. Petrol*, 32, 15 25 p.
- HICHOUR S. & ESSAMOUD R. (2011), Distribution des sédiments en milieu côtier de la région de Casablanca-Dar Bou Azza (Maroc), Conférence Méditerranéenne Côtière et Maritime, Edition 2, Tanger, Maroc, pp.185-188/ http://www.paralia.fr (consulté en février 2013).
- INMAN DI, (1952). Measures for describing the size distribution of sediments. J Sediment Res, 22 : 125-145.
- KABAMBA, MPIANA K, KANDA N, & MAVAMBOU M., (2018). Caractérisation granulométrique de dépôts sableux des rivières de la région de Kinshasa. *International Journal of Innovation and Applied Studies* ISSN 2028-9324 24, 1 : 330-347 © 2018 Innovative Space of Scientific Research Journals http://www.ijias.issr-journals.org/
- KADIMA KABONGO, (2011). Contribution Géophysique à la Connaissance du Bassin du Congo : Modélisation de la Structure Sédimentaire, Mécanisme de Subsidence et Structure de la Lithosphère Sousjacente. Thèse de Doctorat, Université de Lubumbashi.
- KATUKU & MBOYO, (2017). Apport à l'étude hydrogéologique et hydrogéochimique du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola et environs (Province du Kwilu / RDC). Université de

Kinshasa. Mémoire de licence inédit, Faculté des sciences, Département des géosciences, Université de Kinshasa.

- KRUMBEIN WC., (1936). The use of quartile measure in describing and comparing sediments *Journ. Science*-32: 98-111
- MAIGNIEN R., (1958). Le cuirassement des sols en Guinée, Afrique occidentale (Thèse Sciences Strasbourg), Illém. Seru. Carte géol. Als.-Lorr., Strasbourg, no 16, 239 p., 24 fig., 3
- MBANGILWA & LUSILU, (2015). Apports géologiques et géotechniques à la caractérisation du site hydroélectrique de Kakobola et environs. Mémoire de licence inédit, Faculté des sciences, Département des géosciences, Université de Kinshasa.
- MBONGO & KAPITA, (2019). Apport structural et vérification de la stabilité du barrage hydroélectrique de Kakobola (Province du Kwilu / RDC). Mémoire de licence inédit, Faculté des sciences, Département des géosciences, Université de Kinshasa.
- MICHEL P., (1973). Les bassins des fleuves Sénégal et de la Gambie (étude géomorphologique). Thèse d'Etat Mémoire IRD, Numéro 63, 752 p.
- MILLOT G., (1964). Géologie des argiles. Altérations-sédimentologie-géochimie, Paris, Masson, 499 p.
- MOGUEDET G., (1977). Etude sédimentologique du plateau continental de la Guyane française, Revue des travaux de l'Institut de Pêches Maritimes, Laboratoire de Géologie Marine, Nantes, pp.389-402.
- MOIOLA R. J. et WEISER D., (1968). Textural parameters: an evaluation, Jour. Sedim. Petrol., 38:45 53.
- NDALA TSHIWISA I., (2017). Apport à l'étude d'ingénierie géologique du site de l'aménagement hydroélectrique de Kakobola en cours (Province du Kwilu/RDC). Mémoire de D.E.A. inédit, Faculté des sciences, Département des géosciences, Université de Kinshasa.
- PASSEGA R., (1957). Textures as characteristic of clastic deposition. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 9, 1952-1984: 41, 32.
- PASSEGA R., (1964). Grain-size representation by CM patterns as geological tool. J. of Sedim Petrol., 34 (4) : 830-847.
- RIVIERE A., (1977). Méthodes granulométriques, techniques et interprétation, Paris, Masson, 170p.
- SOW (2020). Caractérisations granulométrique et paléo-environnementale d'un bassin versant à forte dynamique structurale par ravinement : le bassin versant de Ourossogui, Nord du Sénégal. *Revue Marocaine de Géomorphologie* : 24- 40. ISSN: 2508-9382
- SOW S.A., (2018). Morphodynamique hydrique par ravinement et ses conséquences dans le bassin versant de Ourossogui, Nord du Sénégal, Thèse de doctorat de Géographie, Université Gaston Berger de Saint-Louis du Sénégal, 328p.
- TISSIERES P. (1990), Etude sédimentologique et géotechnique des dépôts deltaïques de Grandes-près-Marnand, Thèse, Département de Génie civil, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, 259 P.
- TRASK PD., (1930). Origin and Environment of Source Sediments of Petroleum. Gulf Publishing Company : Houston.
- TSHIDIBI NYAMA, (1987). Le ciment siliceux dans les grès polymorphes du plateau des Biano (Shaba-Zaire) provient en partie de la silicification d'une matrice carbonatée. *Annales de La Société Géologique de Belgique*, 109 : 579–585.
- VATAN A., (1967). Manuel de sédimentologie. Technip éd., Paris, 397 p.
- VISHER GS., (1969). Grain-size distribution and depositional processes. J. of Sedim Petrol., 89: 1074-1106.
- WENTWORTH C.K., (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology* 30: 337-392