

Analyses granulométriques et morphoscopiques des sédiments minéraux dans le bassin versant du Poni au Burkina Faso

Sié PALÉ^{1*}, N'dji dit Jacques DEMBÉLÉ²

Résumé

Le bassin versant du Poni, dans le Sud-Ouest du Burkina Faso, est un système géomorphologique complexe, reposant sur une structure géologique cristalline, où l'eau, les sédiments et les activités humaines interagissent. L'étude de la granulométrie par la méthode du tamisage des sédiments résultants de la dynamique hydrique a consisté d'une part à déterminer la répartition des différentes tailles de particules dans chaque échantillon de sédiments et d'autre part, à calculer des indices de *Skewness* (ou d'asymétrie) et de Trask. Quant à la morphoscopie, réalisée à l'aide d'un microscope binoculaire, elle a permis de caractériser la forme et la surface des particules de quartz. Les résultats représentés par des courbes granulométriques dans le premier cas montrent la proportion en taille des particules, leur homogénéité ou non étant donnée par l'indice d'asymétrie. Dans le second cas, les observations des grains de quartz ont permis de déduire prioritairement l'origine fluviale des sédiments, leur distance de transport et surtout les processus auxquels ils ont été soumis. Ces analyses aident à évaluer l'impact de l'érosion sur les ressources en eau et les terres agricoles, et à mieux gérer les risques liés à ces processus.

Mots-clés : sédiments, granulométrie, morphoscopie, bassin versant, Poni, Burkina Faso.

Granulometric and morphoscopic analyses of mineral sediments in the Poni watershed in Burkina Faso

Abstract

The Poni River basin in southwestern Burkina Faso is a complex geomorphological system based on a crystalline geological structure where water, sediments, and human activities interact. The study of grain size distribution using the sieving method on sediments resulting from water dynamics involved, first, determining the distribution

¹ Université Faustin Sié SIB, Gaoua, Burkina Faso / Laboratoire Dynamiques des Espaces et Sociétés de l'Université Joseph KI-ZERBO, 03 BP 7021 Ouagadougou 03, Burkina Faso

² Institut Supérieur des Mines et de Géologie de Boké, République de Guinée / Université des Sciences Sociales et de Gestion de Bamako, République du Mali.

***Auteur Correspondant :** Sié PALÉ ; palesie@gmail.com, Tel : 75 23 31 91. ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3693-4114>

DOI : <https://doi.org/10.64707/revstsna.v45i01.2388>

of different particle sizes in each sediment sample and, secondly, calculating the Skewness and Trask indices. Morphoscopy, performed using a binocular microscope, facilitated the characterization of the shape and surface of the quartz particles. The results, shown as grain size distribution curves in the first case, indicate the proportions of particle sizes, with their homogeneity indicated by the skewness index. In the second case, observations of the quartz grains primarily allowed for the deduction of the sediments' fluvial origin, their transport distance, and, most importantly, the processes to which they were subjected. These analyses help to assess the impact of erosion on water resources and agricultural land, and to better manage the risks associated with these processes.

Keywords : sediments, granulometry, morphoscopy, watershed, Poni, Burkina Faso.

Introduction

La compréhension de la dynamique des cours d'eau suppose l'étude, d'une part, des forces agissant dans les lits des rivières à travers les courants et les débits liquides et solides, et d'autre part, des caractéristiques géomorphologiques de ces lits et des différentes déformations qu'ils subissent ou peuvent subir (Fort *et al.*, 2015). Cette dynamique s'inscrit donc dans un bassin versant où les eaux et les sédiments sont mobilisés par les cours d'eau.

Si l'eau constitue de loin le vecteur essentiel du transport des matériaux dans les rivières, elle est également l'élément de base de la genèse et de l'évolution des formes fluviales (Palé, 2020 ; Fort *et al.*, 2015). En dehors des paramètres lithologiques, climatiques et topographiques qui régissent la disponibilité de la matière solide à mobiliser, l'homme intervient également efficacement dans ce processus.

Le bassin versant du Poni repose dans sa totalité sur un socle cristallin datant du Paléoproterozoïque (2,5 Ga – 1,6 Ga) (Casting *et al.*, 2003 *in* Palé, 2020) et est composé de formations rocheuses telles que les gneiss, les migmatites, les amphibolites, les gabbros et les granites qui constituent l'ossature ancienne. Au Birimien (2,2 Ga – 2,1 Ga), les parties non encore érodées de ce socle forment les ceintures de roches vertes de type volcanique, pyroclastique et sédimentaire (Nanema *et al.*, 2018 ; Koffi *et al.*, 2016 ; Le Mignot *et al.*, 2017 et 2014 ; Naba, 2007). Dans son organisation stratigraphique, l'on peut s'apercevoir par endroits, de la base au sommet, de la succession des formations basales constituées de basaltes et d'andésites, puis des formations volcaniques et volcano-sédimentaires. À ces dernières formations, on associe des roches telles que des séries de laves à caractère calco-alcalin dominantes, des tufs basiques à neutres, des schistes, des niveaux de

sédiments chimiques variés et des sédiments détritiques (Boeglin, 1990 ; Bellucci *et al.*, 1978 ; Marcellin, 1971).

Dans la zone d'étude, tout comme dans la région du craton Ouest-africain dans sa globalité, plusieurs événements tectoniques et climatiques se sont succédé, associant des phases d'orogénèse-plissement, de nivellement, de remblaiement et de creusement. Ces événements géologiques ont préparé le terrain à la dynamique des processus géomorphologiques actuels dans l'espace étudié.

En étudiant la dynamique hydrique à travers des analyses granulométriques et morphoscopiques des sédiments minéraux dans le bassin versant du Poni, situé dans le sud-ouest du Burkina Faso, ce travail vise à expliquer les processus de transport et de dépôt des matériaux dans ce bassin. L'analyse granulométrique permet de déterminer la taille des particules (sables, limons, argiles) ; elle permet de caractériser la texture des sédiments, d'identifier les processus d'érosion et de sédimentation et de comprendre le transport des matériaux. En revanche, l'analyse morphoscopique étudie la forme et la surface des grains de quartz (leur aspect) pour en déduire l'origine et l'histoire, ou pour identifier l'agent de transport.

I. Méthodologie

I.1. Cadre géographique de l'étude

Le bassin versant du Poni, situé dans le sud-ouest du Burkina Faso, appartient au domaine climatique sud-soudanien ; ici, la pluviométrie moyenne annuelle dépasse 1000 mm. Le climat se caractérise par une saison pluvieuse qui dure 7 mois, d'avril à octobre, et par une saison sèche, au vent d'harmattan, sec et poussiéreux. La température moyenne annuelle est de 27,7 °C, avec des minima et des maxima à la station synoptique de Gaoua situés entre 15 °C (juillet-août) et 42 °C en avril. Ce bassin versant est à cheval entre les provinces du Poni et du Noumbiel et couvre une superficie de 3 654,02 km² (Palé *et al.*, 2020). La figure 1 ci-dessous présente le bassin versant du Poni.

Comme mentionné précédemment, le bassin versant repose entièrement sur une formation géologique cristalline datant de l'Antébirimien et du Birimien. Les roches les plus communes sont entre autres des gneiss, des gneiss granitisés ou des migmatites, des amphibolites, des gabbros et des granites. Leur caractère ancien, conjugué à de forts

bouleversements tectoniques, a contribué à les fragiliser et à favoriser leur altération chimique. Des niveaux cuirassés qui subsistent en lambeaux disséminés à travers le bassin montrent plusieurs phases d'événements climatiques dont certaines sont favorables à la météorisation et au cuirassement (Eschenbrenner and Grandin, 1970).

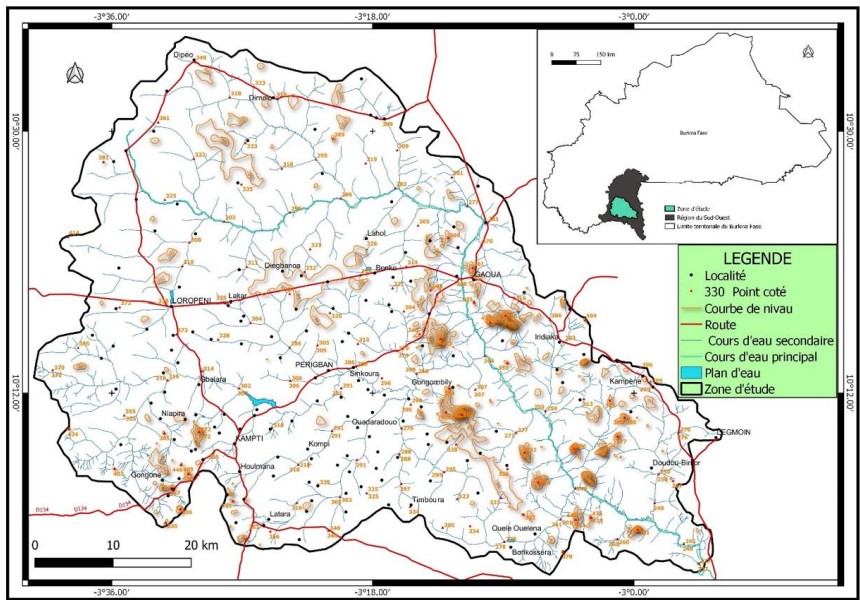


Figure 1 : Localisation de la zone d'étude, le bassin versant du Poni

Source : SRTM 30m*30m/BNBDT (2014), d'après Palé (2020)

Les caractéristiques morphométriques, notamment le ratio d'élongation de 0,73 (forme ramassée), l'indice de l'intégrale hypsométrique d'une valeur de 0,28 et l'indice général de pente inférieur à 1°, indiquent un bassin versant vieillissant du Poni (Palé *et al.*, 2020 ; Palé, 2020). Ces caractéristiques influencent naturellement le tracé du réseau hydrographique ainsi que la dynamique des flux d'eau et des matériaux.

1.2. Matériels et méthodes

La méthodologie a consisté en la recherche documentaire, en des travaux de terrain et de laboratoire. La recherche documentaire a permis d'asseoir la problématique, de choisir les méthodes et outils qui conviennent à l'étude du sujet et de discuter des résultats obtenus. Ainsi, une image SRTM (DEM) de 30 m x 30 m de résolution a permis l'extraction et l'analyse du réseau hydrographique du bassin versant du

Poni, en calculant notamment

- la densité de drainage à travers la formule 1 ci-dessous :

$$D_d = \sum L / A \quad \text{Où } D_d \text{ est la densité de drainage, } \sum L \text{ la somme des longueurs de tous les cours d'eau et } A, \text{ la superficie du bassin drainé} \quad (1)$$

- le ratio de bifurcation qui est le rapport du nombre de bras d'ordre n sur celui de l'ordre supérieur $n + 1$ et le ration des longueurs qui est le rapport de longueur d'ordre L sur la longueur de l'ordre inférieur $L - 1$. Leur équation (2) respective s'écrit de la manière suivante :

$$R_b = \sum n / \sum (n + 1) \quad \text{et} \quad R_L = \sum L / \sum (L - 1) \quad (2)$$

- la sinuosité de Schumm qui consiste à rapporter la longueur actuelle (La) du cours d'eau principal sur la longueur supposée (Lr) du tracé rectiligne comme l'indique la formule 3 ci-dessous :

$$SI = \frac{La}{Lr} \quad (3)$$

De cette équation, quatre classes d'indice de sinuosité des cours d'eau sont retenues (Palé *et al.*, 2020 ; Malavoi et Bravard, 2010) :

- $SI < 1,05$: le cours d'eau est quasiment **rectiligne** ;
- $1,05 < SI < 1,25$: le cours d'eau est **sinueux** ;
- $1,25 < SI < 1,5$: le cours d'eau est **très sinueux** ;
- $SI \geq 1,5$: le cours d'eau est **méandriforme**.

Les travaux de terrain ont essentiellement porté sur la prise d'échantillons de sable dans le thalweg des cours d'eau, sur l'ensemble du bassin versant. Au total, quinze échantillons de sable, pesant en moyenne 500 g chacun, ont été collectés. La figure 2 présente la distribution spatiale des points de prélèvement d'échantillons dans le bassin versant du Poni.

Quant aux analyses de laboratoire, il s'agit de la granulométrie et de la morphoscopie. Dans le premier cas, deux indices (Skewness, Trask) ont été calculés après le tamisage des échantillons. En effet, le protocole de tamisage utilisé est celui de la norme américaine (Carver and Douglas, 1972). À l'aide de la balance électronique de précision, un échantillon de 70 g est définitivement prélevé pour le tamisage. Cet échantillon de 70 g est renversé sur le tamis supérieur de la colonne du set de tamis, préalablement

bien montée et vissée.

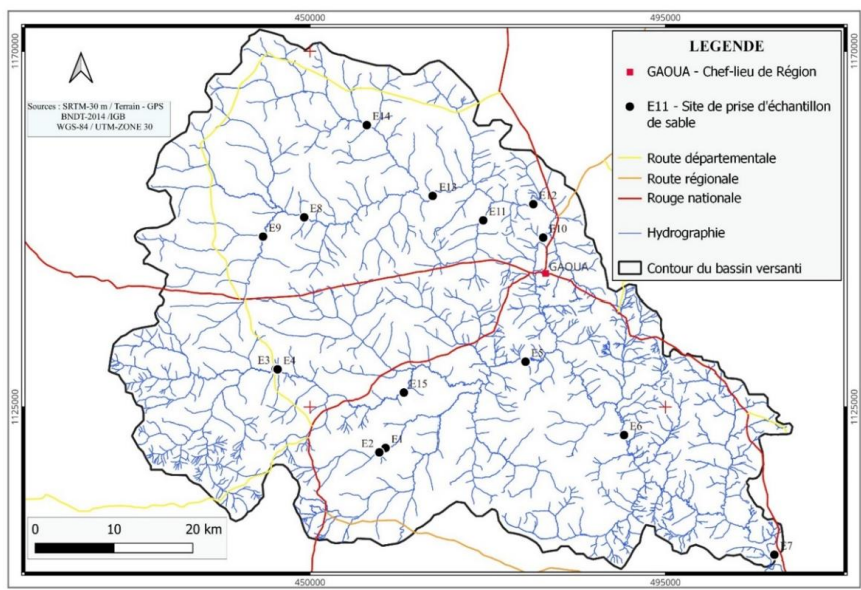


Figure 2 : Sites d'échantillonnage de sédiments dans le bassin versant du Poni

Source : SRTM 30m*30m/Données de terrain

La taille des mailles des tamis utilisés est de 2 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm, 0,0625 mm et 0,0313 mm. Toute la colonne de 7 tamis est mise en agitation pendant une dizaine de minutes. Une fois l'agitateur arrêté, chaque refus est récolté, puis pesé à l'aide d'une balance électronique (grains retenus par les toiles de mailles des tamis calibrés).

L'indice de Skewness est un coefficient d'asymétrie, entre -1 et 1, qui caractérise le degré de distorsion de la distribution des sédiments ; en clair, il facilite l'appréciation des conditions de ruissellement ou d'écoulement dans lesquelles a eu lieu la phase de dépôt. À partir du calcul des fractiles des courbes de fréquences cumulées croissantes des échantillons de sable, cet indice s'obtient grâce à la formule 4 suivante (Losson and Corbonnois, 2006) :

$$SK = \frac{(P_{84} + P_{16} - 2 \cdot P_{50})}{[2 \cdot (P_{84} - P_{16})]} + \frac{(P_{95} + P_5 - 2 \cdot P_{50})}{[2 \cdot (P_{95} - P_5)]} \tag{4}$$

Avec *SK* = indice d'asymétrie et *P* = percentile

Ainsi, lorsqu'il est nul, cela signifie que l'asymétrie ou la distribution est parfaite (la médiane, le mode et la moyenne coïncident). Quand il présente des valeurs négatives, les grains grossiers sont en excès ; les valeurs positives correspondent à une forte proportion de grains fins.

Ce paramètre (ou indice) reflète davantage le milieu de dépôt que les conditions de transport (Defaflia *et al.*, 2013 ; Fournier *et al.*, 2012).

L'indice de Trask S_0 permet, tout comme l'indice d'asymétrie, d'apprécier les conditions d'écoulement et de transport des sédiments dans le lit des cours d'eau. C'est un outil essentiel pour mesurer l'homogénéité d'un échantillon. Il se calcule selon la formule suivante (5) :

$$S_0 = \sqrt{\frac{Q_3}{Q_1}}$$

(5)

Avec Q_3 (75^e centile) dont le diamètre des grains correspond à 75 % des poids cumulés (souvent appelé le quartile « grossier ») et Q_1 (25^e centile) pour lequel le diamètre des grains correspond à 25 % (quartile « fin ») (Le Lann *et al.*, 1973).

L'interprétation de cet indice de Trask est que, sur le plan environnemental, une valeur d'indice proche de 1 (c'est-à-dire très bien classé) indique un agent de transport constant et sélectif, comme le vent ou les vagues. Un indice élevé (mal classé) révèle un dépôt brutal sans tri, typique des crues torrentielles ou des coulées de boue. Son utilité pratique réside dans le fait qu'il permet de distinguer un sable de plage du sable de rivière ou de la moraine glaciaire. Le tableau I ci-dessous présente les classes d'indices possibles et leur signification (El Fellah Idrissi, s. d.).

Tableau I : Classes d'indice de Trask et leur signification

CLASSES	SIGNIFICATIONS
[0 ; 1,23 [	Très bien classé (souvent éolien ou désertique)
[1,23 ; 1,41 [	Bien classé (sable des plages)
[1,41 ; 1,74 [	Assez bien classé (type côtier)
[1,74 ; + ∞ [	Mal classé (typiquement fluvatile)

Quant à ***l'étude morphoscopique*** (El Fellah Idrissi, s.d. ; Cailleux et Tricart, 1963), elle est appliquée aux grains de quartz, décarbonatés à froid, de la fraction comprise entre 0,5 et 0,25 mm. Elle est réalisée à l'aide d'un microscope binoculaire et repose sur l'examen de la forme et de l'aspect des grains de quartz (100 grains de quartz par échantillon pour cette étude), afin d'apporter des renseignements sur le mode de transport de ces grains (Bellahbib *et al.*, 2015 ; Defaflia *et al.*, 2013). Ainsi, les particules arrondies et lisses suggèrent un transport sur de

longues distances, tandis que les particules anguleuses et rugueuses indiquent un transport plus court ou une origine plus récente (Bellahbib *et al.*, 2015).

II. Résultats

Les résultats obtenus au cours de ces investigations méthodologiques sont présentés en trois volets : le réseau hydrographique et ses enseignements ; la granulométrie des échantillons de sable et la morphoscopie des grains de quartz.

II.1. Le réseau hydrographique du bassin versant et ses caractéristiques

Les résultats des travaux antérieurs (Palé *et al.*, 2020 ; Palé, 2020) sur l'extraction automatique du réseau hydrographique du bassin versant à partir d'images SRTM de 30 m x 30 m de résolution ont permis de classer et d'obtenir sept ordres de Strahler (voir la figure 3 ci-après).

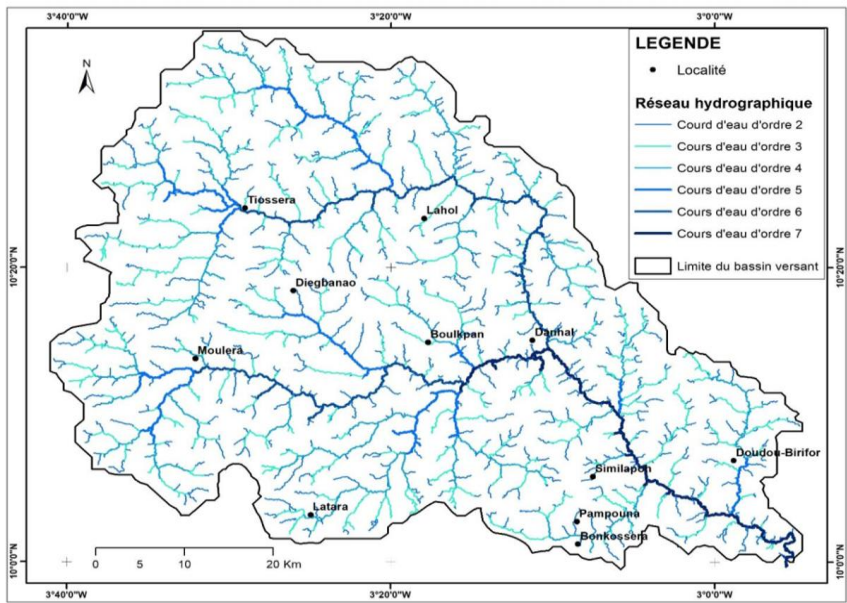


Figure 3 : Réseau hydrographique du bassin versant selon l'ordre de Strahler (Palé *et al.*, 2020).

Source : SRTM 30m*30m/BNDT (2014), d'après Palé (2020)

La compréhension du comportement du tracé du cours d'eau passe par le calcul d'indices à partir de la classification de Strahler ; ici, il s'agit des ratios

de bifurcation ou de confluence et des longueurs des cours d’eau, déterminés et consignés dans le tableau II.

Le rapport de bifurcation, qui décrit la structure des réseaux hydrographiques, influence indirectement le transport des charges liquides et solides en régulant l’écoulement et la concentration de celles-ci dans le bassin versant. La valeur du ratio de bifurcation permet donc d’évaluer le degré auquel un réseau de cours d’eau bifurque. De plus, cet indice aide à comprendre certains facteurs liés au transport des charges liquides et solides et renseigne sur les risques potentiels d’inondation.

Dans notre cas, ce ratio est de 4,29 et est qualifié de faible, car il est inférieur à 5. De ce fait, le risque d’inondation majeur demeure faible. Contrairement à un fort rapport de bifurcation, qui favorise une redistribution plus homogène des eaux et des sédiments, une architecture de réseau hydrographique à faible rapport de bifurcation accentue les concentrations locales et intensifie l’érosion dans le bassin versant du Poni. Bien que ce rapport de bifurcation ne détermine pas directement le transport, il interagit avec des facteurs comme la pente, la surface de drainage et la lithologie pour moduler les dynamiques sédimentaires.

Tableau II : Ratios de bifurcation et longueurs du bassin versant du Poni

N° d'ordre des cours d'eau	Nombre de bras	Longueur (en km)	Longueur moyenne par ordre (km)	Fréq. cum. des longueurs moyennes	Ration de bifurcation	Ration des longueurs moyennes
1	5782	3157,85	0,55	0,55	5,54	2,02
2	1043	1149,57	1,10	1,65	4,29	2,66
3	243	711,45	2,93	4,58	5,17	2,76
4	47	379,55	8,08	12,65	4,27	1,49
5	11	132,35	12,03	24,68	3,67	3,56
6	3	128,33	42,78	67,46	3,00	1,83
7	1	78,35	78,35	145,81	0,00	0,00
TOTAL	7130	5737,43	-	Moyenne	4,29	2,33

Source : D’après Palé *et al.* (2020). Fréq. cum. = *Fréquence cumulée*

La texture du bassin versant, caractérisée par le calcul de la densité du drainage (*Dd*), se détermine en rapportant la longueur totale des chenaux d’écoulement (5737,43 km) à la superficie du bassin versant (3654,02 km²). Cette valeur de la densité de drainage est de 1,59 km/km² ; pour une fréquence d’environ 2 bras de cours d’eau par km², elle reflète la dynamique du bassin. Ici, la densité de drainage est très faible, ce qui indique un écoulement faible et une forte infiltration. Cette infiltration suggère, par la même occasion, un réseau de fractures ou de linéaments ayant affecté la structure géologique composée de roches

cristallines (métamorphiques et magmatiques) sur laquelle repose le bassin versant. La densité de drainage est une mesure capitale, car sa valeur reflète également le climat, les caractéristiques de relief, l'influence du sol, de la végétation et de l'utilisation des terres sur le bassin versant.

Par ailleurs, le calcul de l'inverse de la densité de drainage permet de déterminer la longueur des écoulements diffus et la distance nécessaire pour atteindre un cours d'eau d'un kilomètre. Cette longueur de 0,5 km correspond à la constante de stabilité du cours d'eau, selon Schumm (1956).

L'organisation morphologique du réseau de cours d'eau influe sur la répartition des flux depuis l'amont jusqu'à l'aval du bassin versant du Poni. Dans son fonctionnement morphohydrologique, cette organisation du réseau comporte des processus qui s'expriment par l'incision de la vallée, des modifications longitudinales du profil, ou par moments, la translation (déplacement) du lit du cours d'eau. À partir de ce profil en long du cours d'eau principal du Poni, il ressort que la pente générale est inférieure à 1° comme annoncé plus haut dans le paragraphe portant sur le cadre géographique, soit 0,9 m/km ; le lit s'enfonce davantage à l'approche de son exutoire, soit 1 m de profondeur par kilomètre sur les 25 derniers kilomètres (figure 4 ci-dessous).

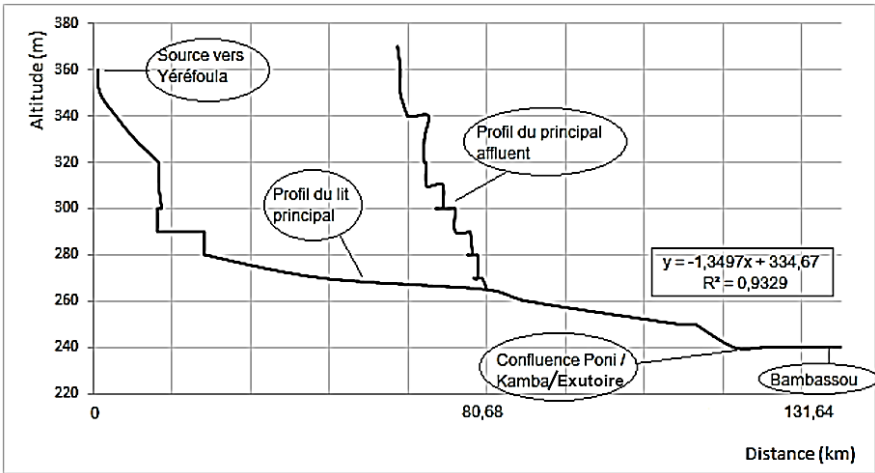


Figure 4 : Profil en long du Poni et de son principal affluent d'après Palé (2020). Source : D'après Palé *et al.* (2020).

Concernant l'indice de sinuosité (**SI**), il est de 1,44 pour le cours d'eau principal d'ordre 7 et de 1,31 pour l'affluent d'ordre 6. Ces deux indices

de la rivière Poni et de son principal affluent, correspondent au troisième niveau de sinuosité, c'est-à-dire $1,25 < SI < 1,5$; pour cet intervalle, le tracé des cours d'eau est **très sinueux**, tel qu'il a été défini en méthodologie.

Cette sinuosité est la résultante de la maturité du bassin versant qui se caractérise par la faiblesse de son relief, de sa pente globale et de son rapport de bifurcation. Il s'agit donc d'un processus d'aplanissement progressif dont les conséquences sont l'accentuation des concentrations locales des flux d'eau et de sédiments d'une part, et d'autre part, l'intensification de l'érosion dans le bassin versant.

Au regard de ces résultats, l'analyse granulométrique des sédiments et la morphoscopie des grains de quartz devront apporter plus de précisions sur cette dynamique morphohydrologique dans le bassin.

II.2. La granulométrie : conditions d'écoulement et de dépôt

L'accumulation des sédiments dans le bassin versant du Poni renseigne aussi sur sa dynamique morphohydrologique. La distance parcourue, la circonstance et le milieu de dépôt desdits sédiments sont déterminés par la forme et l'éclat des grains de quartz, minéraux difficiles à altérer.

Après la procédure décrite dans le protocole de traitement des échantillons, les résultats consignés dans un tableau *Excel* ont servi à la réalisation des graphiques (voir la figure 5 ci-dessous). L'axe des abscisses est représenté par les classes de **Phi (Φ)** qui correspondent aux mailles des tamis selon la norme américaine, et l'axe des ordonnées correspond à la fréquence des masses des fractions granulométriques, exprimée en pourcentage.

L'analyse des échantillons de sable montre que ceux-ci présentent des caractéristiques granulométriques différentes ; en effet, trois groupes se dégagent, dont l'allure de la courbe est soit unimodale, soit bimodale.

- Pour le premier groupe comptant jusqu'à 10 échantillons (E1, E3, E4, E5, E8, E9, E11, E12, E14, E15), l'allure du graphique est unimodale, ce qui dénote l'origine unique et uniforme de ces échantillons. Cependant, une disparité existe dans le détail car le mode n'est pas centré sur la même fraction granulométrique. Ils présentent de ce fait une mauvaise distribution granulométrique, avec une dominance des sables grossiers pour l'échantillon E5, des sables moyens pour les échantillons E1, E3, E8, E9, E11, E12 et E14, et des sables grossiers à moyens pour les échantillons E4 et E15.

- Pour le deuxième groupe (E2, E6, E10), l'allure de la courbe est bimodale ; cette forme s'explique par le transport et l'accumulation de sédiments provenant de deux endroits. Ces trois échantillons sont à dominance de sable grossier à moyen.

- Le troisième groupe est représenté par les échantillons E7 et E13 dont l'allure de leur courbe est complexe. Il renferme une forte proportion de grains grossiers et moyens, ce qui pourrait s'expliquer par un premier dépôt de sédiments qui aurait été souillé par l'arrivée d'une autre vague de sédiments, cette fois de taille différente de celle du premier.

✓ **Indice d'asymétrie SK**

Pour mieux apprécier les conditions de ruissellement durant la phase de sédimentation de chaque échantillon, il a été nécessaire d'utiliser l'indice d'asymétrie **SK** des courbes de fréquence cumulée croissante des échantillons de sable, calculé à partir des fractiles. Le tableau III apporte des précisions sur les propriétés de chaque échantillon selon les classes d'indice.

Tableau III : Classes d'indice d'asymétrie et signification pour chaque échantillon

<i>Classes de SK</i>	<i>Significations des courbes de fractile</i>	<i>Échantillons concernés</i>
<i>[-1 ; -0,30[</i>	Très asymétrique vers les sables grossiers	E7, E15
<i>[-0,30 ; -0,10[</i>	Asymétrique vers les sables grossiers	E13
<i>[-0,10 ; 0,10[</i>	Courbe presque symétrique (sables grossiers et fins)	E4, E6
<i>[0,10 ; 0,30[</i>	Asymétrique vers les sables fins	E2, E5, E10
<i>[0,30 ; 1]</i>	Très asymétrique vers les sables fins	E1, E3, E8, E9, E11, E12, E14

L'indice SK permet de regrouper et d'expliquer les résultats dont les valeurs tendent vers -1, 0 et 1 par rapport à la courbe de distribution de Gauss. Plus précisément, les sables grossiers sont en excès par rapport aux sables fins bien classés qui occupent les classes de valeurs négatives de -1 à -0,1 ; dans ce cas, ils traduisent un dépôt dans des conditions agitées, à forte énergie. Quant aux classes de valeurs positives de 0,1 à 1, les sables fins y sont bien représentés, avec l'intrusion de sables grossiers ; ici, les résultats témoignent de conditions de dépôt de sédiments beaucoup plus calmes, à faible énergie. L'intervalle du milieu (-0,10 à 0,10) renseigne sur les échantillons mixtes, avec dans des proportions plus ou moins égales de sable grossier et de sable fin, dans

un milieu de dépôt à moyenne énergie.

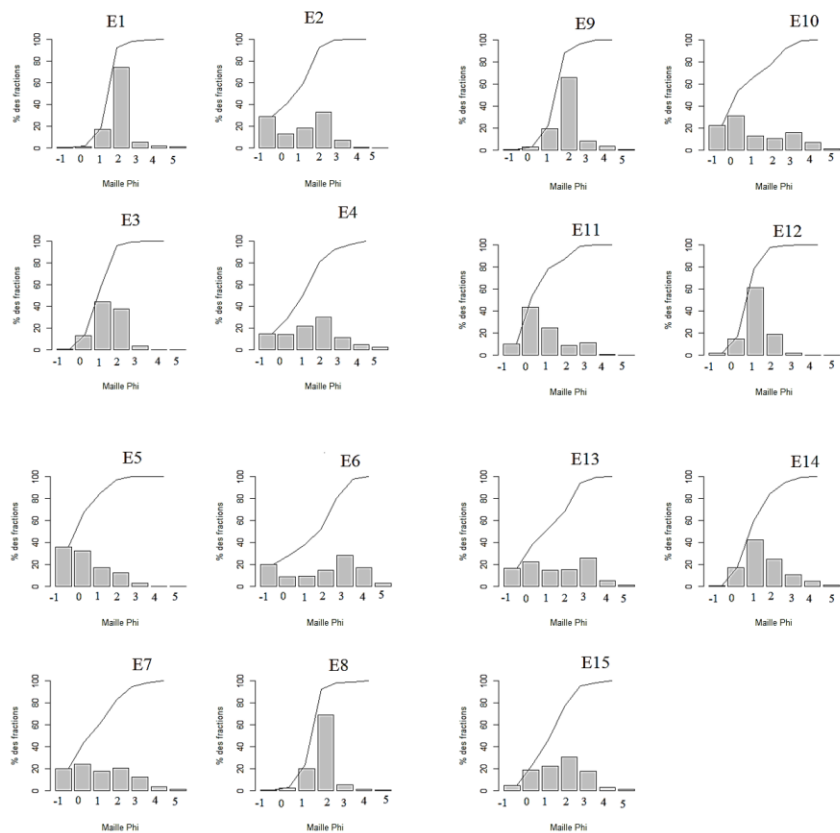


Figure 5 : Histogrammes et courbes de fréquence granulométrique des échantillons de sables

Maille	1	2	3	4	5	6	7
Phi (Φ)	-1	0	1	2	3	4	5
mm	2	1	0,5	0,25	0,125	0,0625	0,0313

✓ **Indice de Trask S_o**

L'indice de Trask S_o , ou coefficient de triage (*sorting index*), mesure l'étendue du mélange granulaire des sédiments. Il se calcule à partir des quartiles lus sur la courbe cumulative, comme indiqué dans la méthodologie. Les résultats obtenus montrent que la plupart des valeurs de S_o sont supérieures à 1,74. C'est un seuil minimal de S_o au-delà duquel tout échantillon est qualifié de « mal classé ». Cette classe d'indice révèle le caractère typiquement fluviatile des sédiments et les échantillons concernés,

au nombre de douze, sont indiqués sur le diagramme de la figure 6. Sur la figure 6, on peut également identifier des échantillons aux caractéristiques singulières et distinctes de la majorité.

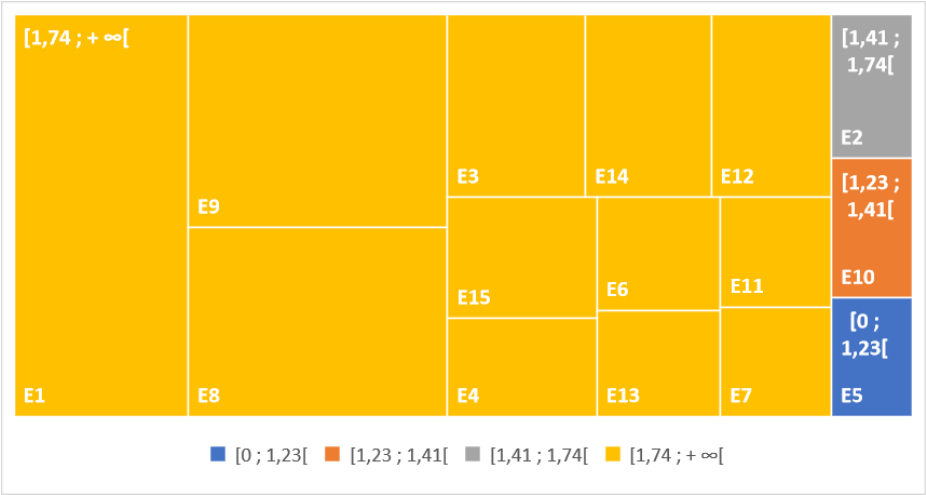


Figure 6 : Diagramme des classes d’indice de Trask matérialisant chaque échantillon

Source : Données de terrain, 2019 et 2024

En effet, l’échantillon E5 est dit « très bien classé » à l’image des sables issus du transport éolien, c’est-à-dire très homogène en taille. Il en est de même pour l’échantillon E10 qualifié de « bien classé », de granulométrie fine à moyenne, comme le sable de plage. Dans la classe des indices « assez mal classés », l’échantillon E2 présente les caractéristiques des sables côtiers. L’analyse de cet indice de Trask permet de souligner sa capacité à de faciliter la classification des sédiments selon la force d’énergie ayant prévalu à leurs dépôts. Tout comme l’indice d’asymétrie, l’indice de Trask S_o permet d’identifier des milieux de dépôt à faible énergie pour les échantillons E10 et E5, à moyenne énergie pour l’échantillon E2 et à forte énergie pour la douzaine d’échantillons restants.

II.3. La morphoscopie des grains de quartz

La morphoscopie, comme annoncée dans la méthodologie, examine la forme et l’aspect des grains de quartz afin d’identifier l’agent de transport et les conditions de dépôt. À cet effet, plusieurs formes sont considérées pendant les analyses : des grains non usés (N.U.), des grains aux coins

arrondis (C.A.), des grains arrondis (A.) et des grains ronds (R.). À ces critères de formes, s'ajoutent le reflet ou l'éclat à la lumière, témoignant de la distance parcourue par les grains : ce sont les éclats naturels (E.N.), luisants (L.), mats (M.), picotés (P.), picotés-luisants (P.L.) et picotés-mats (P.M.). Pour l'environnement de dépôt révélant leur durée de séjour, trois critères supplémentaires sont décrits : des grains pommelés (long trajet avec des phases de repos), des grains corrodés (milieu acide) et/ou des grains ferruginisés (milieu contenant des sels de fer).

L'analyse a porté sur les deux aspects susmentionnés (mode de transport et environnement de dépôt). À partir des résultats obtenus, l'on peut retenir ce qui suit :

- **Mode de transport** : les grains de quartz de la plupart des échantillons (53,33 %) présentent des coins arrondis (C.A.) avec un état de surface luisant (L.) ; les échantillons concernés sont E1, E2, E3, E4, E6, E10, E11, E13 et E14. De ce fait, ceux-ci ont subi un transport fluvatile moyen, avec une distance parcourue beaucoup plus importante que celles des autres. 26,67 % des échantillons (E8, E9, E12 et E15), par contre, a des grains aux coins arrondis (C.A.), avec un état de surface picoté-luisant (P.L.) ; ceci leur confère un transport fluvatile faible, donc une sédimentation non loin de leur zone d'origine. Les échantillons E5 et E7 décrivent un transport fluvatile fort, soit 13,33 % des échantillons dont les caractéristiques des grains de quartz ont la forme arrondie et un éclat picoté-luisant. Des particules issues du transport éolien, avant d'être charriées par les eaux, sont également présentes et plus représentées dans certains échantillons comme E1 (29 %), E2 (30 %), E3 (40 %) et E4 (26 %), avec un état de surface mat.

- **Environnement de dépôt** : tous les échantillons présentent les mêmes caractéristiques, à savoir qu'ils sont partiellement ferruginisés. Le constat est que les échantillons ayant subi un bref parcours dans une dynamique fluvatile faible ont également leurs grains de quartz ferruginisés comme leurs homologues à particules majoritairement arrondies et ayant subi une dynamique fluvatile moyenne à forte. Ainsi, deux situations peuvent être envisagées : la première suppose que certains grains sont déjà ferruginisés avant d'être transportés ; cela pourrait survenir lors de l'altération des cuirasses ferrugineuses, qui contiennent également du quartz ; la seconde situation renvoie à la ferruginisation des grains de quartz, qui n'est certainement pas liée à la distance parcourue, mais plutôt à la durée du séjour dans un environnement où le fer se précipite abondamment. Mais, au regard du

contexte bioclimatique dans lequel le processus de cuirassement est encore dynamique, cette seconde situation semble la plus concluante ; ainsi, plus le séjour est long, plus le taux de ferruginisation des grains de quartz est important. La présence de quelques grains pommelés (E2, E4, E6, E10) et corrodés (E2, E7, E11) apporte une précision sur le taux d'acidité de leur milieu de dépôt.

III. Discussion

Les investigations menées sur les images radar STRM à 30 m x 30 m de résolution spatiale et sur les échantillons de sable ont facilité le calcul d'indices permettant de déterminer des caractéristiques morphométriques du bassin versant du Poni. Les résultats de ces indices tels que le ratio d'élongation (0,7), l'indice de l'intégrale hypsométrique (0,28), l'indice global de la pente IG (0,86 m/km) ou pente générale du profil du cours d'eau principal (0,9 m/km) issus d'études antérieures (Palé *et al.*, 2020), la densité de drainage (1,59 km/km²), l'indice de sinuosité (1,44, soit très sinueux) et les indices d'asymétrie et de Trask, montrent une convergence dans la signification et la compréhension du fonctionnement du bassin versant du Poni. Ces données démontrent clairement que le bassin versant est mature (vieux et aplani) avec une faible dynamique fluviale et érosive (0,85 à 1,6 t/ha/an) (Palé, 2020). Ce qui explique également la faiblesse de sa pente générale, sa platitude d'ensemble et, la sinuosité du cours d'eau principal et de son affluent, aboutissant à un surcreusement du lit dans sa partie aval sur la figure 4. Pour Mahaman (1995), l'écoulement de la rivière Poni est très faible et est réduit en période sèche à un chapelet de mares.

Les analyses granulométriques et morphoscopiques des échantillons de sable confirment, à leur tour, ces données sur la faiblesse de la dynamique hydrique. Plus haut, il a été prouvé qu'un faible rapport de bifurcation accentue les concentrations locales et intensifie l'érosion dans le bassin versant du Poni ; ce qui résulte d'une très faible densité de drainage et indique un écoulement faible avec une forte infiltration. En toute logique, pour un faible ratio de bifurcation et une densité de drainage faible, on s'attend naturellement à un écoulement faible et à un transport de sédiments sur de courtes à moyennes distances.

Si l'importance des indices d'asymétrie et de Trask réside dans leur capacité à traduire des chiffres bruts en une histoire géologique concrète, alors ils permettent par la même occasion de

reconstruire le passé d'un sédiment, à savoir son origine, son mode de transport et son milieu de dépôt, un argument fortement appuyé par Le Lann *et al.* (1973) et Bellahbib *et al.* (2015), malgré les contextes bioclimatiques différents de cette étude.

Par ailleurs, l'analyse morphoscopique des grains de quartz de ces quinze échantillons révèle, par leur forme et leur état de surface, une dynamique fluviale faible à moyenne. La présence des grains arrondis et luisants qui prédominent dans les sédiments du lit mineur témoigne d'un long transport en milieu aquatique (rivière Poni) où les chocs et les frottements ont poli les arêtes.

Les grains pommelés, les grains corrodés ainsi que les grains ferruginisés renseignent sur le pH du milieu de dépôt. Dans cette situation, surtout pour la dernière catégorie, leur environnement de dépôt révèle une forte présence d'oxyde de fer dans le bassin versant, ce qui caractérise clairement leur origine lithologique (granite, granitoïde, migmatite, etc.). Une arrivée allochtone de l'oxyde de fer par lixiviation n'est pas à exclure pour autant, mais la première probabilité demeure plus plausible et cohérente, au regard de sa forte présence (2 à 18 %) dans les roches de substratum, selon Boeglin (1990).

En résumé, ces indices, selon Campy *et al.* (2013), servent de « boîte noire » au bassin versant du Poni, dans la mesure où les indices d'asymétrie et de Trask indiquent si le milieu était stable ou chaotique, tandis que la morphoscopie indique si le voyage a été long ou court. Cette théorie est également défendue en Algérie par Djerrab *et al.* (2012), dans un autre contexte bioclimatique aride où le vent (agent prédominant) et la dynamique hydrique coexistent dans les oueds.

Cette dynamique hydrique, aussi faible soit-elle, est liée à plusieurs facteurs d'ordre climatique, pédologique, topographique, biologique et anthropique, selon les conclusions de Palé (2020). Ces facteurs concourent à la dynamique morphohydrologique du bassin, avec l'apparition d'une diversité d'unités géomorphologiques (encroûtement des buttes et des glacis, apparition de types d'érosion sur les versants et sur les berges des cours d'eau, sur les plaines alluviales et les zones de bas-fonds diverses) d'envergure différente.

Conclusion

L'étude de la granulométrie et de la morphoscopie des sédiments quartzeux résultant de la dynamique hydrique, permet de mieux comprendre les relations entre ces éléments et d'identifier les enjeux de gestion durable des ressources. Les résultats ont montré qu'un lien existe entre les caractéristiques morphométriques et hydrologiques du bassin versant et la dynamique des flux d'énergie et de matières. À un bassin versant mature à indice général de pente faible et présentant un faible ratio de bifurcation, correspond une faible dynamique hydrique, caractérisée par une accumulation locale des sédiments.

En résumé, l'étude de ces différents aspects permet de mieux comprendre les processus qui façonnent le paysage du bassin versant du Poni et d'aider à la gestion durable de ses ressources. Un examen approfondi de la dynamique hydrique proprement dite, notamment la sensibilité des sols à être dégradé, devra faciliter le choix et la mise en œuvre des mesures de conservation des sols, de gestion de l'eau et de lutte contre l'érosion.

Conflit d'intérêt

Tous les auteurs déclarent qu'il n'existe aucun conflit d'intérêt.

Contribution des auteurs

SP a produit le draft du manuscrit, NJD a corrigé et finalisé le manuscrit.

Références bibliographiques

Bellahbib, N., Rezqi, H., Oujidi, M., et Bengamra, S. (2015). Étude granulométrique et minéralogique des sédiments superficiels du littoral de Saïdia et de l'estuaire de la Moulouya (Nord-Est du Maroc). *Lahryss Journal*, n°24, pp. 19-40.

Bellucci, R., Gallori, A., Pion, J. C., et Facibeni, P. (1978). Recherches géologiques et minières Boromo-Houndé UPV – 74 – 004 République de Haute Volta. Étude géomorphologique. Rapport / PNUD, GEOMAP Geological Surveys, Florencia, Italy, 37 p.

Boeglin, J.-L. (1990). Évolution minéralogique et géochimique des cuirasses ferrugineuses de la région de Gaoua (Burkina Faso). Thèse de doctorat en géologie de l'université Louis Pasteur de Strasbourg, France, 188 p.

Cailleux, A. et Tricart, J. (1963). Initiation à l'étude des sables et des galets. Centre de Documentation Universitaire, Paris, France, 369 p.

Campy, M., Macaire, J.-J. et Grosbois, C. (2013). Géologie de surface. Érosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux. Collection DUNOD, 3e éd., Paris, France, 442 p.

Carver, R. E. and Douglas L. A. (1972). Procedures in sedimentary petrology. Soil Science, vol. 114, n°6, p. 500.

Casting, C., Billa, M., Milesi, J.P., Thieblemont, D., Le Metour, J., Egal, E., Donzeau, M., Guerrot, C., Cocherie, A., Chevremont, P., Tegye, M., Itard, Y., Zida, B., Ouedraogo, I., Koté, S., Kaboré, B. E., Ouédraogo, C., Ki, J. C. et Zunino, C. (2003). Notice explicative de la carte géologique et minière à 1/1000000 du Burkina Faso. 3e éd., Projet de cartographie géologique de reconnaissance du Burkina Faso à l'échelle 1/200000. Projet SYSMIN « Cartographie Géologique au Burkina Faso » N° 7. ACP. BK.074, Ouagadougou, Burkina Faso, 152 p.

Defaflia, N., Abdessadok, A., Djerrab, A., et Chouabbi, A. (2013). Étude sédimentologique et paléoenvironnementale des formations quaternaires alluvionnaires de l'Oued Birzguel, El Ma El Abiod, Wilaya de Tebessa, Algérie. Courier du Savoir, N° 17, pp. 139-147.

Djerrab, A., Zedam, R., Camps, P., Defaflia, N., Abdessadok, S., Triki, D., Djelailia, S., et Bahra, N. (2012). Étude sédimentologique et magnétique d'une séquence alluviale du Pléistocène supérieur-Holocène de l'oued Adaila (El Ma Labiod, Tébesa, Algérie) et indications paléoenvironnementales, *Quaternaire*, vol. 23/3, Paris, France, pp. 227-240.

El Fellah Idrissi, B. (s. d.). Étude granulométrique et morphoscopique des grains de sable. Travaux pratiques. Département des Sciences de la Vie et de la Terre, CRMEF-Casablanca-Settat, Maroc, 7 p.

Eschenbrenner, V., & Grandin, G. (1970). La séquence de cuirasses et ses différenciations entre Agnibilékrou (Côte d'Ivoire) et Diébougou (Haute-Volta). *Cah. ORSTOM, Sér., Géol., II*, 2, Paris, pp. 205-246.

Fort, M., Betard, F. et Arnaud-Fasséta, G. (2015). Géomorphologie dynamique et environnement. Collection U, Armand Colin, Paris, France, 336 p.

Fournier, J., Bonnot-Courtois, C., Paris, R., Voldoire, O. et Le Vot, M. (2012). Analyses granulométriques, principes et méthodes. CNRS, Dinard, IWPParis, France, 100 p.

Koffi, Y. H., Wenmenga, U. et Djro, S. C., 2016. Tarkwaian deposits of the Birimian belt of Houndé: Petrological, structural and geochemical study (Burkina Faso, West Africa). *International Journal of Geosciences*, 7, pp. 685-700.

Le Lann, F., L'Homer, A., et Scolari, G. (1973). Analyses granulométriques. Emploi et signification des principaux paramètres statistiques. Bureau de Recherches géologiques et Minières, Ministère du Développement Industriel et Scientifique, Orléans, France, 34 p.

Le Mignot, E., Siebenaller, L., Béziat, D., Salvi, S., André-Mayer, A.-S., Reisberg, L., Velasquez, G., Zimmermann, C., et Franceschi, G. (2014). The Paleoproterozoic Copper-gold deposits of Gaoua, Burkina Faso: Evidence of a polyphased mineralisation. *Acta Geologica Sinica (English Edition)*, vol. 88, Supp.2, Barcelona, pp. 970-972.

Le Mignot, E., Siebenaller, L., Béziat, D., André-Mayer, A.-S., Reisberg, L., Salvi, S., Velasquez, G., Zimmermann, C., Naré, A., et Franceschi, G. (2017). The Paleoproterozoic Copper-gold deposits of the Gaoua district, Burkina Faso: superposition of orogenic gold on a porphyry copper occurrence? *Economic Geology*, vol. 122, pp. 99-122.

Losson, B., & Corbonnois, J. (2006). Les modes de sédimentation détritique : nouvelle méthode de détermination appliquée à des remplissages endokarstiques. *Geologica Belgica*, 9 (3-4), pp. 257-265.

Mahaman, A. (1995). Évaluation technique et socio-économique d'un programme d'hydraulique rurale dans la Province du Poni, Burkina Faso. Mémoire de fin d'études, E.I.E.R., Ouagadougou, Burkina Faso 58 p.

Malavoi, J.-R., & Bravard, J.-P. (2010). Eléments d'hydromorphologie fluviale. Comprendre pour agir, ONEMA, Vincennes, France, 224 p.

Marcellin, J. (1971). Notice explicative de la carte géologique au 1/200000 Gaoua-Batié. Edit. BGRM, Ouagadougou, Burkina Faso, 31 p.

Naba, S. (2007). Propriétés magnétiques et caractères structuraux des granites du Burkina Faso oriental. Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 175 p.

Nanema, M., Wenmenga, U. et Ilboudo, H. (2018). Geochemical and geodynamic constraints of tholeiitic volcanism and related intrusions in the Kampti gold district, southwest Burkina Faso: Implication of mineral exploration. *Earth Science Research*, vol. 7, n°1, Ontario, Canada, pp. 76-93, <https://doi.org/10.5539/esr.v7n1p76>

Palé, S. (2020). Morphohydrologie du bassin versant du Poni (Sud-Ouest du Burkina Faso). Thèse de doctorat unique en géographie, Université Joseph KI-ZERBO, Ouagadougou, Burkina Faso, 275 p.

Palé, S., Kékélé, A., et Da, D.E.C. (2020). Caractérisation géomorphométrique des formes de relief dans le bassin versant du Poni, au Burkina Faso. *Afrique SCIENCE*, 17(3), pp. 62-77.

Schumm, S.A. (1956). The evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Geol. Soc. Am., Bull.*, vol.67, n° 5, Colorado, USA, pp. 597-646.