

Caractérisation lithogéochimique de l'exploitation artisanale d'or à Toulépleu, Ouest de la Côte d'Ivoire: Implications sur le dynamisme des métaux

[Lithogeochemical characterization of artisanal gold mining in Toulépleu, Western Côte d'Ivoire: Implications for the dynamism of metals]

Zié Ouattara¹, Gnamba Franck Emmanuel Gouédji¹, Marc Ephrem Allialy², Péhé Jonathan Claver Monouin¹, and Yacouba Coulibaly²

¹Université de Man, UFR des Sciences Géologiques et Minières, BP 20 Man, Côte d'Ivoire

²Université Félix HOUPHOUËT-BOIGNY, UFR STRM, Laboratoire de Géologie de Ressources Minérales et Energétiques, 22 BP 582 Abidjan 22, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: The expansion of artisanal gold mining is observed throughout the territory of Côte d'Ivoire. This is the case of the city of Toulépleu, in the west of the country. These artisanal activities, by opening quarries and wells, help at the way to describe lithologies and to understand the distribution of metals. It is the main objective of this study in Toulépleu which proceeds first by the description of the sites of artisanal mining activities, then by the study of the excavated material and horizons exposed finally the analysis of the samples on the X-ray Spectrometer. It appears that the associated gold mineralization is alluvial. The mineralized horizon is gravelly associated with quartz pebbles and rock fragments. These derived from the schists and granitoids of the Toulépleu-Ity furrow constituting the hills whose weathering products pile up successively in the valleys, concentrating gold by the same process. The breccic forms with subrounded of the pebbles and fragments of rocks indicate the result of a low hydrodynamics. The lithostratigraphic correlation shows, from the bottom to the surface, a succession of three horizons: clay, amalgam (gravelly) and clay-sandy. The mineralized horizon is thus preserved by the two clay horizons that frame it. Silicification decreases with depth especially in the mineralized zone which is also associated with zinc, silver, zirconium, sulfur and arsenic. Iron, calcium and manganese oxides evolve in contrast to silicification. Other metals like lead, vanadium, nickel, copper are distributed according to the sites and the depth of the wells.

KEYWORDS: Toulépleu-Ity furrow, gold, lithogeochemistry, artisanal mining, Ivory Coast.

RESUME: L'expansion de l'exploitation artisanale d'or s'observe partout en Côte d'Ivoire, c'est le cas à Toulépleu, ville dans l'ouest du pays. Ces activités artisanales, en ouvrant des carrières et puits, aident par la même occasion à décrire les lithologies et à comprendre la répartition des métaux. C'est l'objectif principal de cette étude à Toulépleu qui procède d'abord par la description des sites d'activités minières artisanales, ensuite par l'étude des déblais et horizons mis à nu enfin de l'analyse des échantillons prélevés au spectromètre à fluorescence X. Il ressort que la minéralisation aurifère décrite est principalement alluvionnaire. L'horizon minéralisé est graveleux associé à des cailloutis de quartz et des fragments de roches. Ceux-ci proviennent des schistes et granitoïdes du sillon Toulépleu-Ity constituant les collines dont les produits d'altération s'entassent successivement dans les vallées, concentrant par le même processus l'or. Les formes bréchiennes à subarrondies des galets et fragments de roches indiquent le résultat d'un faible hydrodynamisme. La corrélation lithostratigraphique montre, du bas vers la surface, une succession de trois horizons: argileux, amalgame (graveleux) et argilo-sableux. L'horizon minéralisé est ainsi conservé par les deux horizons argileux qui l'encadrent. La silicification diminue avec la profondeur surtout dans la zone minéralisée qui est également associée à des teneurs importantes en zinc, argent, zirconium, soufre et arsenic. Les oxydes de

fer, de calcium et manganèse évoluent contrairement à la silicification. D'autres métaux tels que le plomb, le vanadium, le nickel, le cuivre se répartissent en fonction des sites et de la profondeur des puits.

MOTS-CLEFS: Sillon de Toulépleu-Ity, or, lithogéochimie, exploitation artisanale, Côte d'Ivoire.

1 INTRODUCTION

L'exploitation artisanale de l'or, aussi appelée orpaillage est une activité informelle, pratiquée de manière non planifiée, par des méthodes manuelles et faisant recours à des outils primitifs [1]. La Côte d'Ivoire recense une floraison des activités artisanales d'exploitation d'or sur l'ensemble des régions [2]. Ainsi, elle touche aussi bien dans les formations du domaine protérozoïque (Hiré, Tongon, Angovia, Aféma) que dans les alluvions des formations birimiennes d'âge protérozoïque inclusent dans l'archéen (Foleu [3], Duékoué [4] et Toulépleu). Par conséquent, l'intérêt pour la récupération de ce métal jaune à partir des sédiments meubles s'est développée à vive allure. De ce fait, au cours de ces cinq dernières années l'orpaillage à Toulépleu a connu un essor fulgurant. L'or y est actuellement exploité de manière artisanale dans les rivières, les fleuves, les latérites et les bas-fonds. A partir des formations mises à nues par les orpailleurs de Toulépleu, peuvent être extraites des informations d'ordre géologique. De ce fait, notre étude s'inscrit dans le cadre de la compréhension de la minéralisation aurifère des sites d'orpaillage de Toulépleu et de comprendre les implications de ces activités sur la distribution éventuelle des métaux lourds qui y sont associées. Dans le but d'atteindre nos objectifs, l'objectif principal sera décliné en objectifs spécifiques que sont:

- décrire les différentes unités lithologiques des profils des sites d'exploitation artisanale;
- connaître la lithogéochimie des horizons d'exploitation artisanale
- comprendre la distribution des métaux

2 CONTEXTE GEOGRAPHIQUE

Le département de Toulépleu est à environ 650 Km d'Abidjan. Il est érigé dans un couloir formé par les fleuves Nuon et Cavally entre la longitude Ouest 8°25'30" et la latitude Nord 6°34'40. Toulépleu est limité au Nord par le département de Zouan-Houien, à l'Est par celui de Bloléquin, à l'Ouest et au Sud par le Liberia (Fig. 1). Le relief de la zone est dominé par les collines d'altitudes variantes entre 200 et 470m. Le mont Seité haut de plus de 490m et le mont Sahon culminant à 300m sont les collines les plus importantes.

3 CONTEXTE GEOLOGIQUE

L'histoire géologique de la zone d'étude est liée à celle de la formation des roches du Paléoprotérozoïque que l'on observe en charriage dans l'achéen de la Côte d'Ivoire (Fig. 2). Cela se situe dans la partie méridionale du craton Ouest africain, précisément dans la dorsale de Man [5], [6]. Le domaine archéen est jalonné par deux principaux cycles orogéniques: le Léonien et le Libérien. Les travaux de [7] en Sierra Leone et de [8] en Côte d'Ivoire, ont permis d'identifier l'existence du Léonien daté à environ 3 Ga. [9] met en exergue la présence d'un second cycle, le libérien d'âge compris entre 2 650 et 2 850 Ma. Ce domaine est constitué de charnockites, de migmatites, de leptynites, de gneiss et de granitoïdes [8], [10], [9], [6].

Les formations du domaine Protérozoïque ont été structurées au cours de l'orogénèse Eburnéenne entre 2 600 Ma et 1 600 Ma ([9], [11]). Ces terrains sont constitués d'une alternance de ceintures de roches vertes et de bassins volcano-sédimentaires, intrudés par différentes générations de granitoïdes [12], [13].

La zone d'étude se situe au Sud de l'unité Ity-Toulépleu orientée NE-SW et limitée à l'Ouest par la faille de Cesto entre les parallèles N6°30 et N7°20. Les travaux de [14] ont distingué les roches issues de l'orogénèse éburnéenne que sont les granodiorites, les dolérites, les micaschistes feldspathiques et les métagrauwackes, de celle issues de l'orogénèse libérienne que sont: les amphibolites, les quartzites, les granodiorites gneissifiées. [9] définit ces granodiorites gneissifiées comme étant les faciès type de la zone, cette affirmation est similaire à celle faite à l'issue des travaux de [15].

4 MATERIEL ET METHODES

Les travaux de terrain ont été réalisés dans les puits d'orpaillage dans la ville de Toulépleu et de ceux au niveau du mont Seité. Ces travaux ont consisté en des observations et descriptions des différentes lithologies des profils de trois puits d'orpaillages suivies de la collecte de 09 échantillons par les méthodes de rainures. A l'œil nu, des informations ont été relevées notamment sur les horizons des profils des puits et par l'utilisation d'une fiche de description comportant: les coordonnées géographiques des puits, les épaisseurs des différents horizons, les facies lithologiques et la couleur des horizons. La modélisation des sols en rubans à la main, a été réalisé afin d'avoir un aperçu de la proportion en argiles dans les échantillons sur le terrain.

Les travaux au laboratoire de l'UFR des Sciences Géologiques et Minières de l'Université de Man ont permis d'analyser six échantillons de matériaux meubles. Les analyses chimiques se sont réalisées sur une fluorescence à rayon X HORIBA Mesa-50 (Figure 4B) équipée du logiciel HORIBA. Pour les oxydes et les silicates, le potentiel d'accélération a été fixé à 50 Kv et le courant de faisceau à 55 μ A. Le traitement des données s'est fait par l'usage du logiciel Rstudio pour la réalisation des diagrammes et celui CorelDraw pour la schématisation des profils.

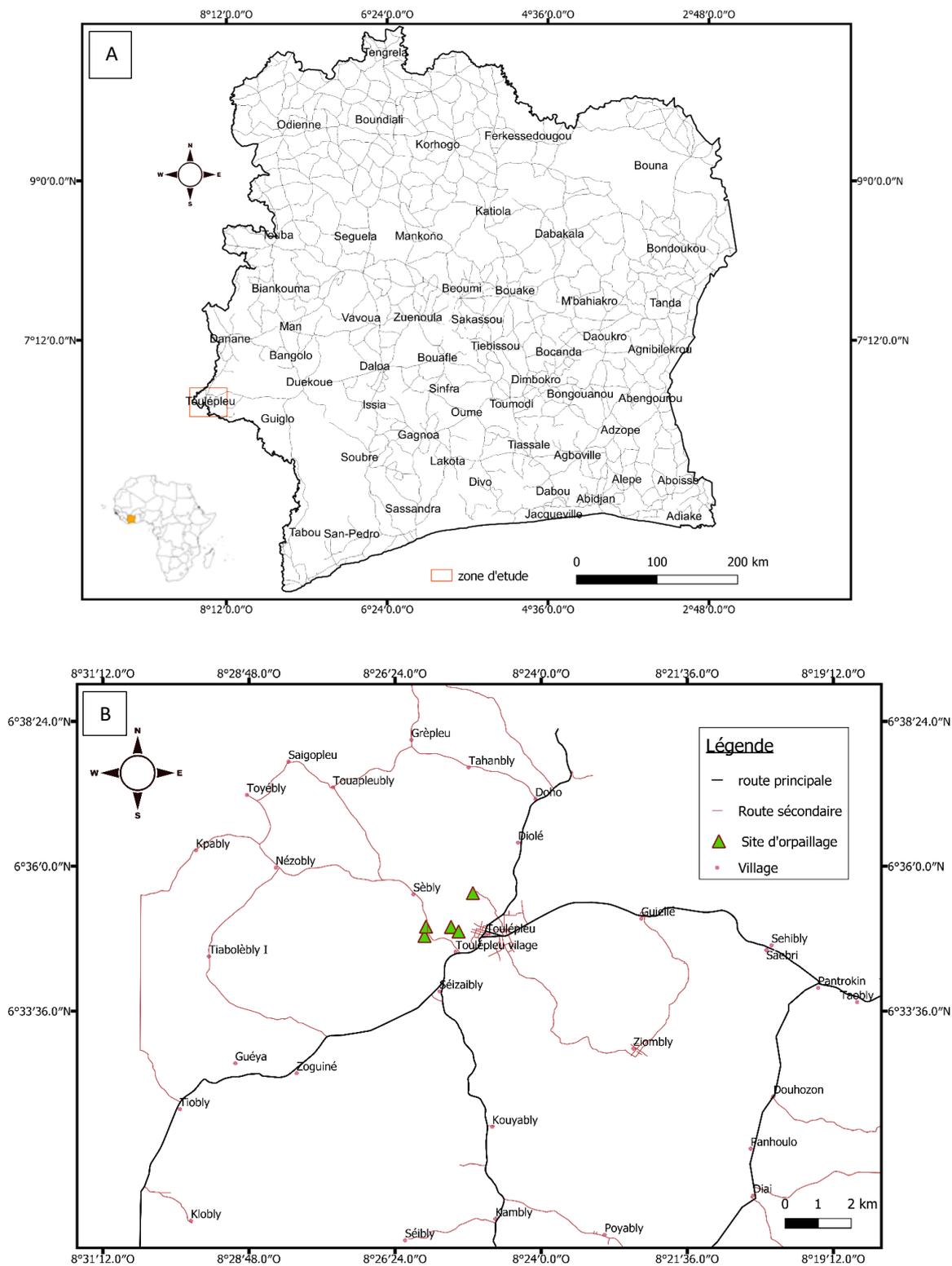


Fig. 1. Cartes géographiques montrant la localisation de sites miniers artisanaux de Toulépleu.
A) Localisation du département de Toulépleu dans la Côte d'Ivoire.
B) vue détaillée du département de Toulépleu avec les sites miniers artisanaux étudiés.

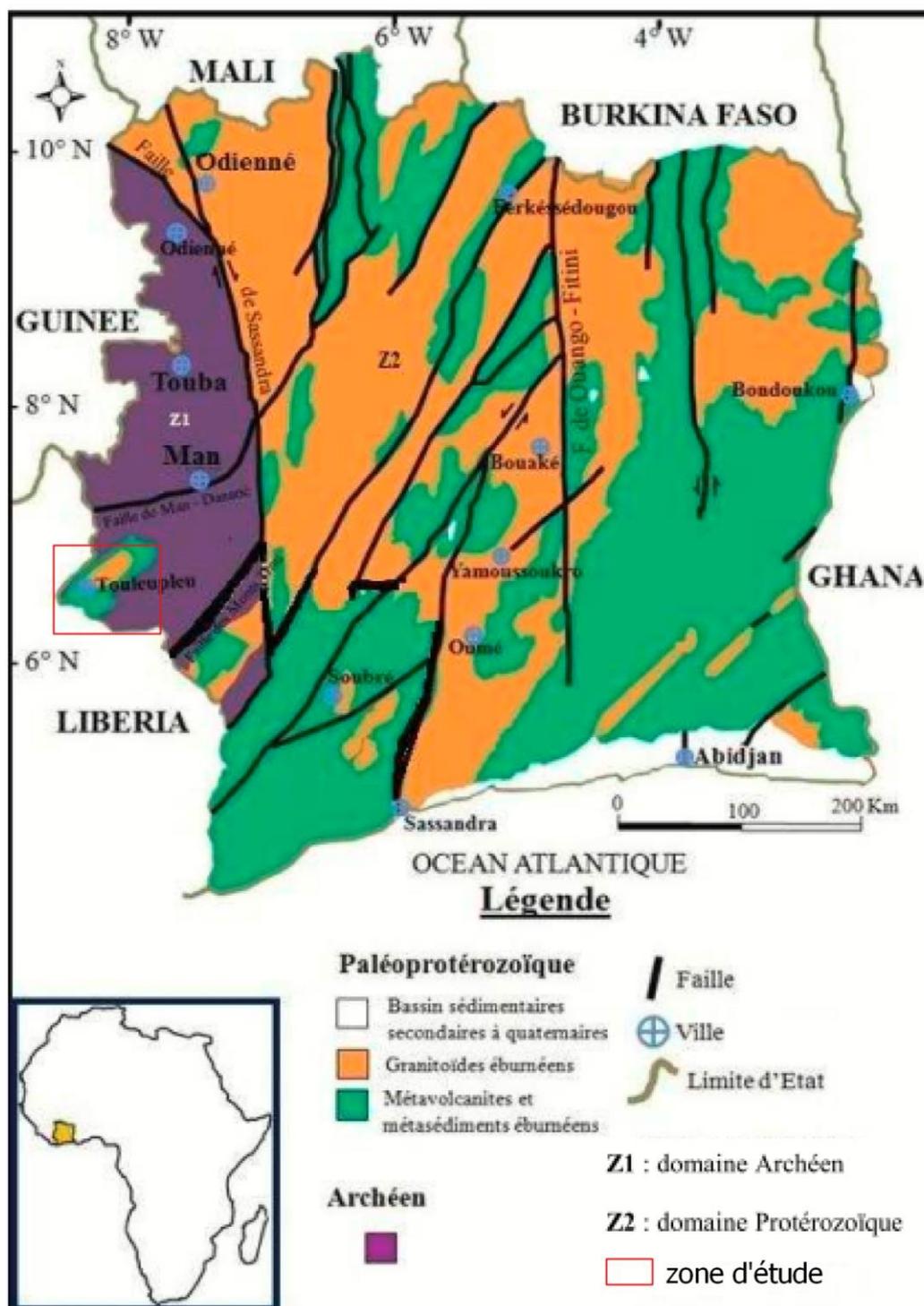


Fig. 2. Carte géologique montrant la zone d'étude en cadran rouge (modifié d'après [16])

5 RESULTATS

5.1 IDENTIFICATION DES SITES D'ACTIVITE MINIERE ARTISANALE A TOULEPLEU

Les activités d'exploitation artisanale d'or se déroulent dans la ville de Toulépleu, au niveau des bas-fonds et au pied des collines comme le mont Séité (Fig. 3). Les dénominations des sites sont celles employées par les exploitants artisanaux. Ainsi,

la première zone d'étude désignée Brésil, regroupe les puits Brésil 1 (B₁) et Brésil 2 (B₂), tandis que la seconde zone est Séité, représentée par les puits St.

Les sites Brésil 1 et 2 sont dans la ville tandis que le site Séité se situe au mont du même nom à quelques kilomètres de la ville. Ces deux zones présentent des dizaines de puits foncés jusqu'au bed- rock qui est argileux.



Fig. 3. Illustration du site sites d'activités minières artisanales Brésil à Toulépleu.

A) Carcasse de brouette perforée utilisée dans le débouage ; B) Sluice garni de tapis et bassines de débouage ; C) Puits gorgé d'eau sur un site abandonné ; D) Débouage d'un minerai à or sur le site Brésil.

5.2 CARACTERISATION LITHOGEOCHIMIQUE DES SITES MINIERES ARTISANAUX DE TOULEPLEU

La caractérisation lithogéochimique met ensemble la description des lithologies, l'établissement des colonnes lithostratigraphiques enfin le traitement des analyses réalisées au XRF sur les échantillons issus des différents horizons.

5.2.1 DESCRIPTION DES LITHOLOGIES

La description macroscopique des sites de Séité et de Brésil, a permis d'identifier divers galets de quartz et des fragments de roches sur les piles de déblais (Fig. 4). Les galets de taille variant de 5 à 20 cm ont des formes majoritairement anguleuses à subarrondies (Fig. 4B). Cela nous conforte que ces galets auraient subi un transport de courte à moyenne distance. En conséquence, ils feraient partie des roches constituant les collines et constitueraient leurs produits d'érosion. L'examen des rares fragments de roches a principalement révélé des schistes. Également, la partie fine des sites d'orpaillage a indiqué la présence de minéraux argileux et sériciteux.



Fig. 4. Illustrations des déblais ayant servi à la description macroscopique à Toulépleu. A) Déblais issu du lavage au sluice à B1 ; B) Détail d'un galet sur les entassements de déblais.

5.2.2 LITHOSTRATIGRAPHIE DES SITES DE TOULEPLEU

La lithostratigraphie a été décrite avec plus de détails dans les puits B₁ et B₂. Cela s'explique par le fait que ces puits sont plus anciens et plus profonds que ceux de Séité.

5.2.2.1 PUIITS BRESIL 1 (B1)

Le puits B₁ est situé en amont par rapport au puits B₂. Il montre une structuration verticale faite de quatre ensembles distincts du bas vers le haut (Fig. 5).

5.2.2.1.1 ARGILE BARIOLEE (H1)

L'horizon mis à nu par la base du puits B₁, est caractérisé par la présence d'argile d'une diversité de couleur (Fig. 5). Cette argile bariolée, montre une matrice verte avec des flammèches jaune et rouge des zones d'oxydations. Dans les premiers niveaux de cet horizon, on observe de rare débris de roches de couleur verte, ainsi que des cailloutis de quartz à forme subarrondie. Ces quartz sont de couleur brune, blanche, blanc laiteux, présentant parfois des craquelures internes. La limite avec l'horizon qui le surmonte est peu marqué.

5.2.2.1.2 AMALGAME (H2)

Les corps les plus significatifs de cet horizon sont essentiellement les graviers, le sable, l'argile et de rare fragments de schiste (Fig. 5). Cet amalgame est pris dans une épaisseur de 50 cm, dont le quartz est l'élément le plus abondant. Ces quartz sont de couleurs noire, blanche, brune et présente des cassures horizontales et verticales. Ils présentent également un aspect émoussé avec des dimensions comprises entre 4 et 6cm. Le fragment de schiste observé, est de couleur verte, il avait une forme presque arrondie. La granulométrie grossière des éléments de l'horizon d'amalgame, la distingue de celui qui la succède.

5.2.2.1.3 HORIZON SABLEUX (H3)

Cet horizon est caractérisé par une épaisseur de 20 cm (Fig. 5). Il est essentiellement rempli de sable bariolée avec une alternance de couleur jaune et brune. La granulométrie est grossière dans l'ensemble, mais les particules de sable qui sont plus proche du toit, sont moins grossières que celles qui se rapprochent du mur de l'horizon.

5.2.2.1.4 ARGILE SABLEUSE (H4)

Cette portion du puits, montre un horizon argilo-sableux. Au sein de cet horizon, on observe des nodules de la latérite présentant des formes arrondies à subarrondies, qui sont prises dans une matrice verte (Fig. 5). Le sable est peu appréciable dans cet horizon, qui présente une épaisseur de 70cm.

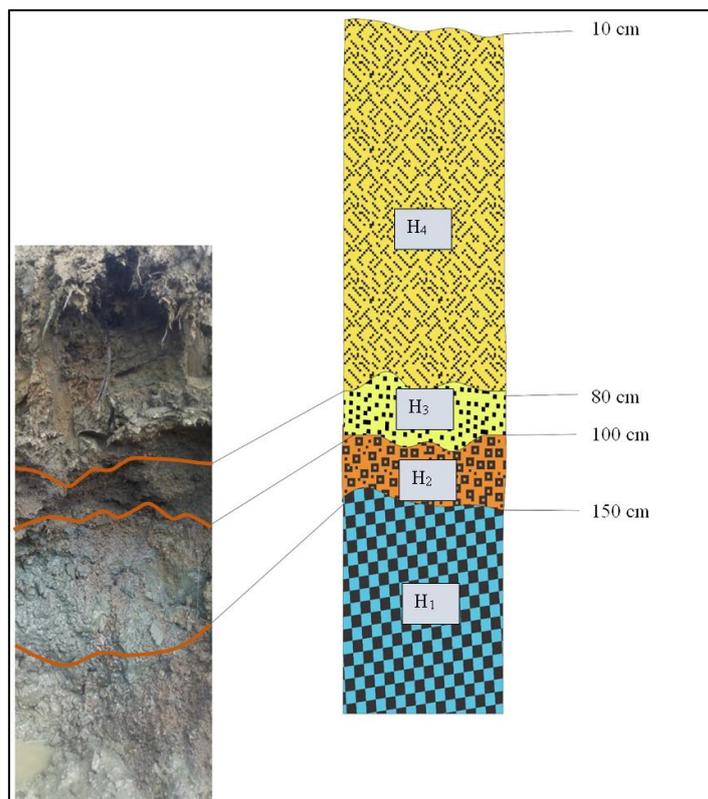


Fig. 5. Colonne lithostratigraphique du puits artisanal B₁ à Toulépleu.
H₁ : argile bariolée ; H₂ : amalgame de gravier, sable et argile ; H₃ : Sable grossier et H₄ : argile sableuse

5.2.2.2 PUIITS BRESIL 2 (B2)

Le puits est implanté en aval, à environ 600m du B1. Le profil atteint une profondeur totale de 2,20 m (Fig. 6). La section verticale de ce puits montre quatre horizons successifs du bas vers le haut.

5.2.2.2.1 HORIZON D'ARGILE ROUGE

Il s'agit d'un horizon de couleur rougeâtre comblé par une matrice argileuse. Plus on se dirige en profondeur, la matrice devient de moins en moins friable. Cet horizon, présente également des quartz de taille centimétrique à la périphérie de l'horizon supérieur. La taille de ces quartz, devient millimétrique au fur et à mesure que l'on descend dans l'horizon.

5.2.2.2.2 HORIZON D'AMALGAME

La limite avec l'horizon sous-jacent est progressive. L'amalgame est constitué de quartz, de nodules de latérite presque arrondie de couleur rouge pris dans une matrice d'argile rouge. Dans cet horizon de 30 cm d'épaisseur, les grains de quartz émoussés, de dimension millimétrique à centimétrique (0,4 à 3cm) sont présents et leur proportion semble augmenter vers la base.

5.2.2.2.3 HORIZON ARGILO-SABLEUX

Cet horizon se compose d'une matrice argileuse de couleur rouge. Il marque une limite assez nette avec l'horizon sous-jacent (Fig. 6). La matrice est de plus en plus friable à mesure que l'on monte dans l'horizon. Elle englobe des nodules de latérite de couleur rouge, et parfois jaune. L'épaisseur maximum de cet horizon est de 60cm, marqué par la présence des quartz de dimension millimétrique présentant toutes un aspect plus émoussé.

5.2.2.2.4 HORIZON DE COUVERTURE

Il s'agit de l'horizon de couverture, il n'est pas appréciable dans ce puits du fait du remblaiement et des rejets des puits.

5.2.2.3 Puits Du Mont Seite (St)

Le puits St est distant de 2,7 Km des puits de la zone 1. Il est réalisé à la base de la colline Séité, et également dans un bas-fond. Le profil cumule 70 cm de profondeur (Fig. 7). Il étale une organisation du bas vers le haut constitué de deux horizons.

5.2.2.3.1 HORIZON 1

L'argile est l'élément le plus représentatif de cet horizon. Elle est de couleur noire à bleu noirâtre, avec très peu de cailloutis de quartz. Les quartz ont des tailles allant de 1 à 2cm avec des aspects très émoussés.

5.2.2.3.2 HORIZON 2

Il constitue l'horizon de couverture. Ce profil est signé par la présence de racines prises dans un sol limoneux de couleur brune à noire.

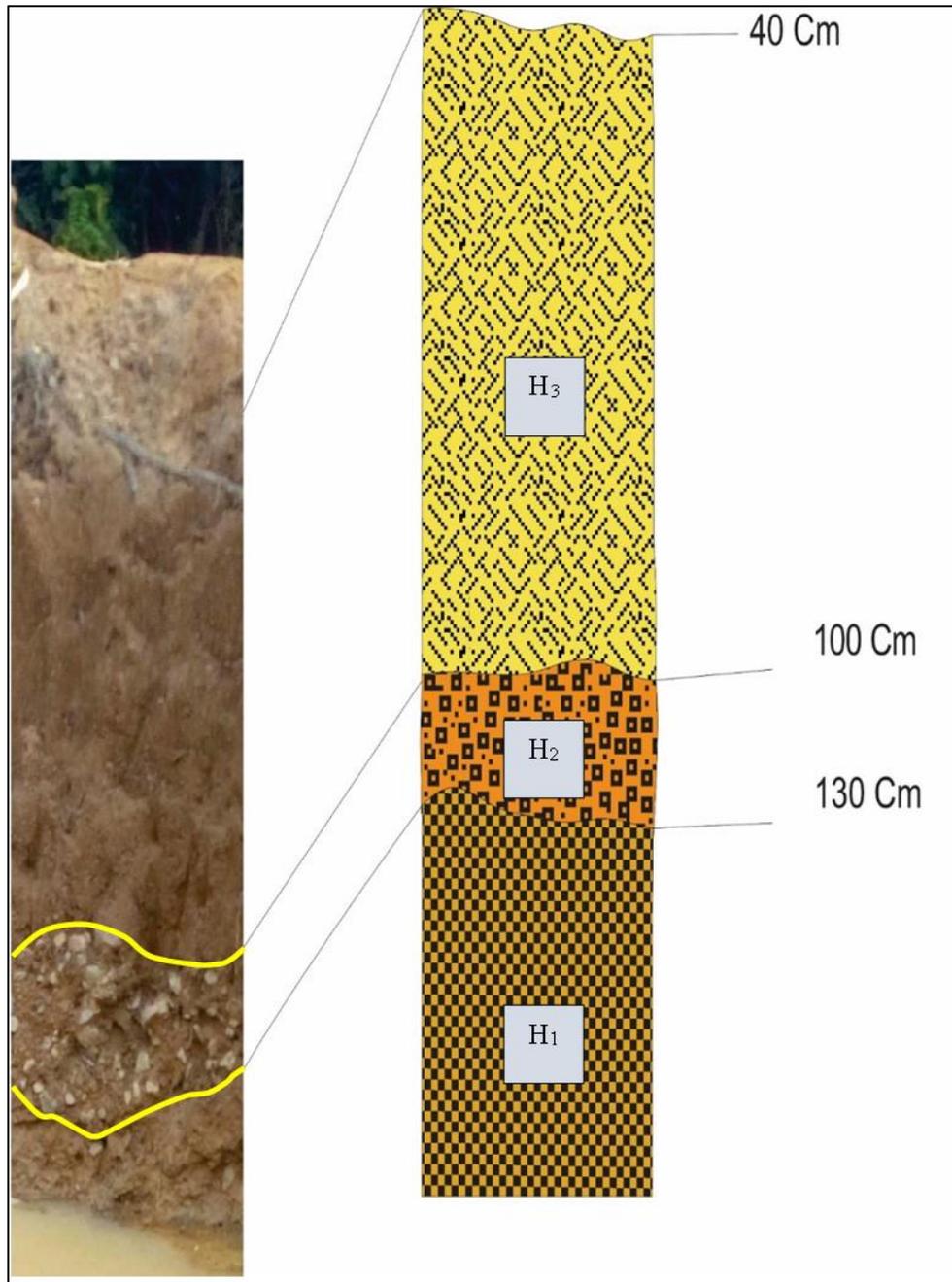


Fig. 6. Colonne lithostratigraphique du puits artisanal B₂ à Toulépleu.
H₁ : argile rouge ; H₂ : mélange de cailloutis de quartz et d'argile ; H₃ : argile rouge

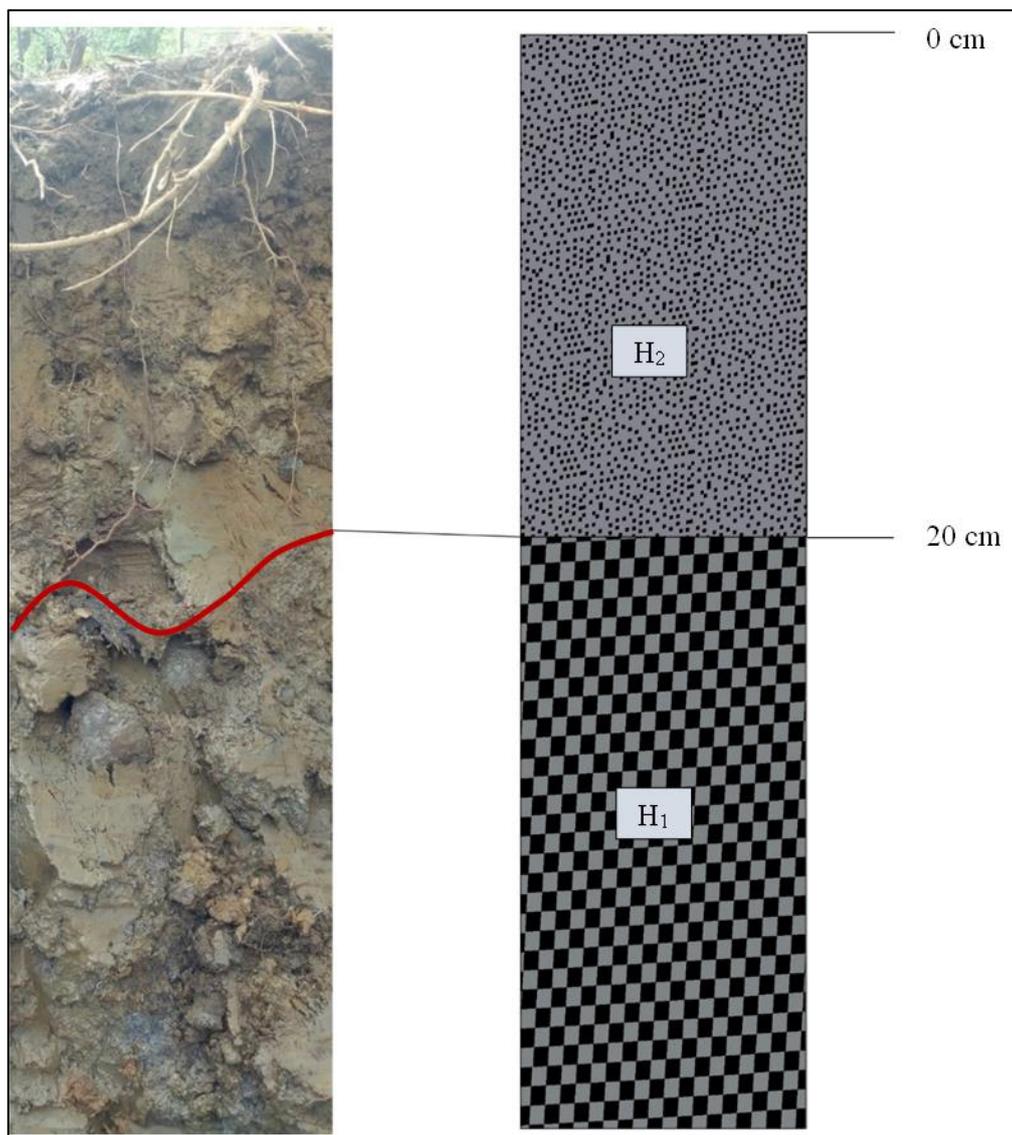


Fig. 7. Colonne lithostratigraphique du puits artisanal St à Toulépleu.
 H_1 : argile ; H_2 : sol de recouvrement limoneux

5.2.3 DISTRIBUTION DES ELEMENTS CHIMIQUES DANS LES PROFILS

5.2.3.1 PUIITS B1

La section du Puits B₁ montre une succession de quatre horizons différenciés que sont: l'argile bariolée; l'amalgame (gravier, sable, et argile); le sable et l'horizon argilo-sableux. Le tableau 1 présente les résultats d'analyses des quatre horizons aux XRF.

- **Les éléments majeurs**

Les diagrammes de variation des oxydes sont représentés dans la figure 8. L'ensemble du profil est riche en silice (Tableau I). Cette abondance serait due à la présence des cailloutis de quartz, provenant de l'accumulation des débris de quartz, occasionné par la morphologie méandrique de l'ancienne rivière ainsi que du fait de leur faible hydrodynamisme. Cette teneur en silice diminue progressivement vers les horizons H₁. La proportion en silice diminue brusquement de l'horizon H₄ (51,64%), puis tend à se stabiliser dans les horizons H₃ et H₂ (37,7 et 36,75%) pour atteindre son minimum dans l'horizon H₁ (27,7%). La silice est l'élément majeur qui marque le mieux la différence dans ce profil.

L'oxyde de fer a une évolution contraire de celle de la silice. Son pourcentage augmente dans l'ensemble du profil tandis que celui de la silice diminue. Sa distribution est telle que la teneur augmente dans l'argile bariolée ainsi que dans l'argile par rapport à la zone d'amalgame et de l'horizon sableux.

L'alumine a dans l'ensemble une teneur faible, comprise entre 3 et 5%. La teneur en alumine est plus significative dans les horizons 4 et 1. Elle diminue de l'horizon 4 vers l'horizon 3, où elle est son minimum (3,06%), puis augmente légèrement dans la zone graveleuse (amalgame) pour atteindre son maximum dans l'argile bariolée (5,20%).

Le phosphore et le manganèse ont des teneurs faibles dans tous les horizons. L'évolution de la quantité du manganèse est contrastée dans tous le profil, tandis que, celle du phosphore est à son minimum dans l'amalgame avec une teneur de 0,77%.

Le titane est faiblement représenté dans toute la section du profil, il présente des teneurs comprises entre 1,03% et 3,15%. La teneur du titane diminue depuis l'argile sableuse (3,15%) aux argiles bariolées de plus faible teneur (1,03%).

Le calcium présente une variation contrastée des argiles sableuses aux argiles bariolées où il est plus quantitatif (1,74%). La magnésite n'apparaît quasiment que dans l'horizon sableux sous une faible teneur (0,83%).

Le potassium est faiblement représenté dans les argiles bariolées, et dans l'amalgame avec des teneurs respectives de 0,12% et 0,13%. Ses proportions augmentent légèrement à partir des argiles sableuses (0,21%) vers les sables qui montre la plus grande teneur (0,43%) puis diminue brusquement pour se stabiliser entre l'horizon d'amalgame et celui des argiles bariolées.

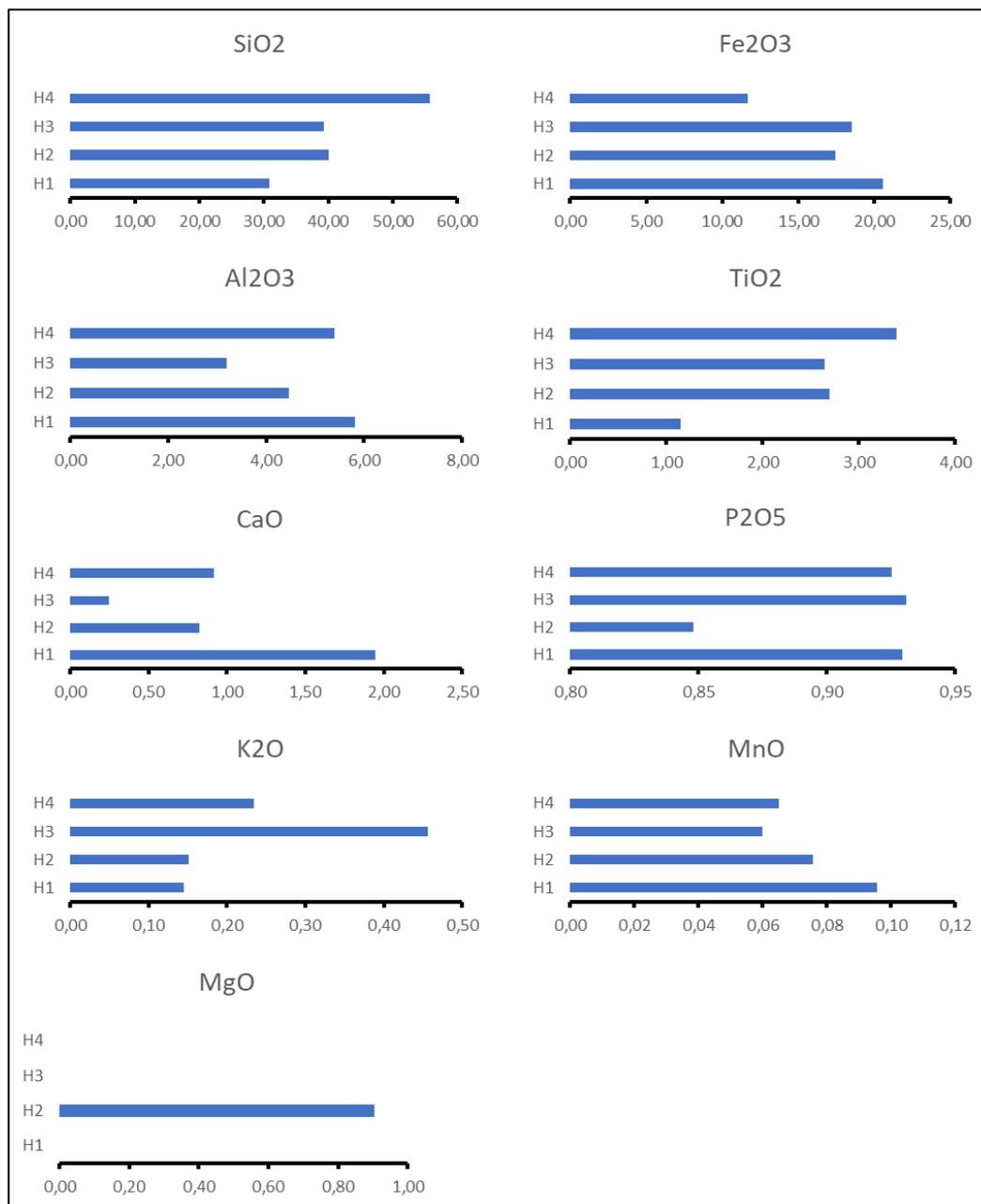


Fig. 8. Diagrammes présentant la répartition des éléments majeurs dans les horizons du puits artisanal B₁.

Tableau 1. Analyse chimique des éléments majeurs (en %) et éléments en traces (en ppm) de la section verticale du puits B₁

Eléments analysés	H4	H3	H2	H1
SiO ₂	51,64	37,78	36,76	27,72
Fe ₂ O ₃	10,89	17,80	16,04	18,47
Fe ₃ O ₄	10,46	17,21	15,51	17,85
FeO	9,74	16,02	14,44	16,62
Al ₂ O ₃	5,01	3,06	4,10	5,21
TiO ₂	3,15	2,54	2,48	1,03
P ₂ O ₅	0,86	0,89	0,78	0,83
K ₂ O	0,22	0,44	0,14	0,13
CaO	0,85	0,23	0,76	1,75
MnO	0,06	0,06	0,07	0,08
MgO	0	0	0,83	0
Total	92,8	96,04	91,9	89,7
en ppm				
Zr	151,61	45,82	83,17	90,72
ba	127,96	361,7	374,83	297,34
Sr	46,45	9,94	48,06	88,37
Rb	4,04	5,19	0	4,28
Pb	9,75	11,49	0	0
Au	0	8,52	0	0
As	7,05	45,5	11,17	8,25
Zn	36,02	100	90	57,68
Cu	46,79	55,73	56,23	81,87
Ni	35,41	85,47	60,62	82,35
Co	226,25	0	285,79	0
Cr	251,45	1288,32	896,41	626,97
V	309,03	679,43	486,2	569,4
Cs	10,97	47,87	48,38	31,01
Sn	30	51,45	45,8	33,86
Ag	0	151,25	155,75	0

• Les éléments traces

Les résultats d'analyse des éléments traces sont consignés dans le tableau I. Les diagrammes issus de ces variations sont dans la figure 9.

L'argent est pratiquement absent dans les argiles et n'apparaît que dans le sable et la zone graveleuse avec des teneurs de 155 ppm. C'est également le cas du rubidium et du plomb qui ne sont présents que dans le sable et l'argile sableuse sous de faibles teneurs (5,19% et 4,04% pour le rubidium et 11,4% et 9,75% pour celui du plomb).

La teneur en zirconium admet son pic dans l'argile sableuse (151ppm) alors qu'elle diminue dans le sable et augmente à nouveau dans l'amalgame et dans l'argile bariolée.

Le plomb et l'or ne sont pas représentés dans l'argile bariolée. Quelques quartz aurifères s'observent dans l'amalgame, les teneurs d'or sont par contre plus marquées dans l'horizon sableux (8ppm). Les teneurs du plomb, présentent une tendance d'accumulation progressive. Le plomb, est un élément très peu mobile, par conséquent, il est fortement fixé par les oxyhydroxydes de fer ou par la matière organique. Ce qui explique son accumulation dans les horizons superficiels.

L'or dans ce profil se trouve en abondance dans l'horizon sableux. Cette présence est associée à des teneurs élevées en zinc, arsenic, et plomb. Ces éléments sont caractéristiques de certains minéraux sulfurés, considérés comme accompagnateurs de l'or. Leur présence ainsi que celle du soufre impliqueraient la déstabilisation de minéraux comme la blende, de la pyrite, de

la galène, et du chalcopryrite (BPGC). La présence du nickel de teneur importante dans ce profil, proviendrait de l'altération des minéraux ferromagnésiens.

5.2.3.2 Puits St

La section verticale du puits St est constituée de deux horizons dont les résultats d'analyse au XRF sont dans le tableau 2.

- **Eléments majeurs**

Les diagrammes de variation des oxydes sont représentés dans la figure 10. La teneur de la silice dans le sol limoneux (20%) augmente progressivement dans l'argile noire où il est de 29%. Tandis que, la proportion du fer diminue considérablement dans les argiles (9%).

L'alumine marque un appauvrissement dans l'argile (4,27%), Alors qu'il était de 9,36% dans les limons.

Les quantités du titane est faible dans l'ensemble. Elles sont sensiblement identiques dans les horizons argileux (2,61%) et limoneux (1,94%).

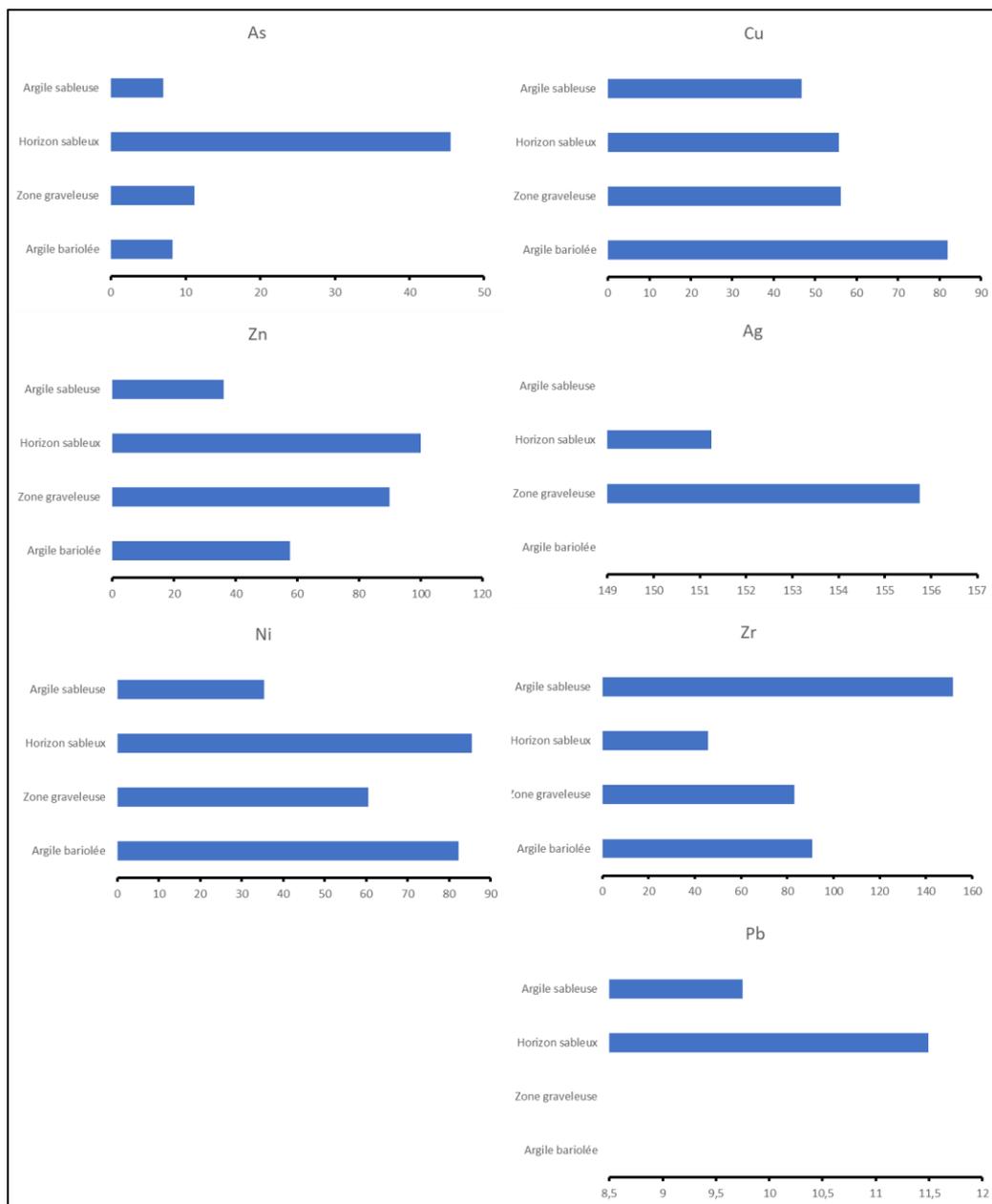


Fig. 9. Diagrammes présentant la répartition des éléments traces dans les horizons du puits B₁

• **Éléments traces**

Les diagrammes de variation des éléments traces constituent la figure 11. Les éléments tels que Zr, Sr, Pb, As, Zn, Cu et Te ont des teneurs pratiquement faibles dans tous les horizons de ce puits. Le plomb, l'arsenic et l'argent n'ont par contre aucune signature dans l'argile, alors qu'ils sont présents dans le sol limoneux avec des teneurs respectives de 26,94 ppm, 83.91 ppm et 222,68 ppm.

La teneur du baryum dans le sol de recouvrement (364,37 ppm) diminue dans l'argile où il est de 242,69 ppm. Quant au strontium, sa proportion augmente des limons aux argiles (43,54 ppm).

La teneur du nickel est faible dans ce puits (71,54 ppm), sa présence n'est exhaustive que dans les argiles (figure13). L'absence du nickel dans le premier horizon s'expliquerait par sa lixiviation dans l'argile.

Le vanadium est marqué dans les deux horizons, avec des teneurs importantes (309,74ppm et 688,69ppm). Cet élément est plus concentré dans le sol (688,69 ppm) que dans les argiles où il diminue d'environ 370 ppm (Figure 13). Cette quantité de vanadium serait issue des matières organiques ou des sulfures de vanadium tel que la patronite (VS₄) et la sulvanite (CuVS₄).

Le cobalt est significatif dans l'horizon de couverture (1088,78 ppm), tandis qu'il n'est pas marqué dans l'argile noire. Cette teneur résulterait des nodules de latérites pris dans cet horizon. Cet élément illustre la présence des roches ultrabasiques et basiques dans lesquelles il est généralement présent.

6 DISCUSSION

Cette étude sur les sites miniers artisanaux pour or dans la ville de Toulépleu a permis d'en savoir plus que sur la lithostratigraphie et la géochimie des horizons des puits artisanaux.

La rentabilité des sites d'orpaillage de Toulépleu est liée aux matériels utilisés dans l'extraction. Ceux observés à Toulépleu sont plutôt archaïques, c'est pourquoi les exploitants artisanaux s'en tiennent au bas-fond. Ces contraintes sont celle de la plupart des activités minières artisanales comme le confirment les travaux de [17] dans le Sud du Québec.

La minéralisation aurifère exploitée par les exploitants artisanaux à Toulépleu est essentiellement alluvionnaire. Au niveau de la lithostratigraphie, le site de Brésil a abouti à une corrélation entre ses deux puits. Ainsi de bas en haut, trois horizons sont à noter: l'horizon argileux, puis celui de l'amalgame enfin l'horizon argilo-sableux. Les fragments de roches liés aux schistes ainsi que les galets de quartz faisant allusion aux roches felsiques indiquent que les roches de Toulépleu décrites par [15] sont presque toutes impliqués dans ces horizons. Ainsi, en généralisant, on retient que les puits d'orpaillage de la ville de Toulépleu présentent du bas vers le haut une succession de couche argileuse, un amalgame, une surface sableuse, de l'argile sableuse et un recouvrement limoneux.

Tableau 2. Analyse chimique des éléments majeurs (en %) et des éléments en traces (en ppm) de la section verticale du puits St

Oxydes en %	H1: Argile noire	H2: Sol limoneux
SiO ₂	29,32	20,02
Fe ₂ O ₃	9,47	40,54
Al ₂ O ₃	4,28	9,36
TiO ₂	2,61	1,94
CaO	0,66	0,12
P ₂ O ₅	0,63	0,79
MnO	0,07	0,07
K ₂ O	0,04	0,13
Eléments traces (ppm)		
Zr	169,8	161,25
Ba	242,69	364,37
Sr	43,54	7,22
Pb	0	26,94
As	0	83,91
Zn	30,74	80
Cu	39,3	88,05
Ni	71,54	0
Co	0	1088,78
Cr	197,97	1786,24
V	309,74	688,69
Te	38,05	78,78
Ag	0	222,68
Nb	20	0

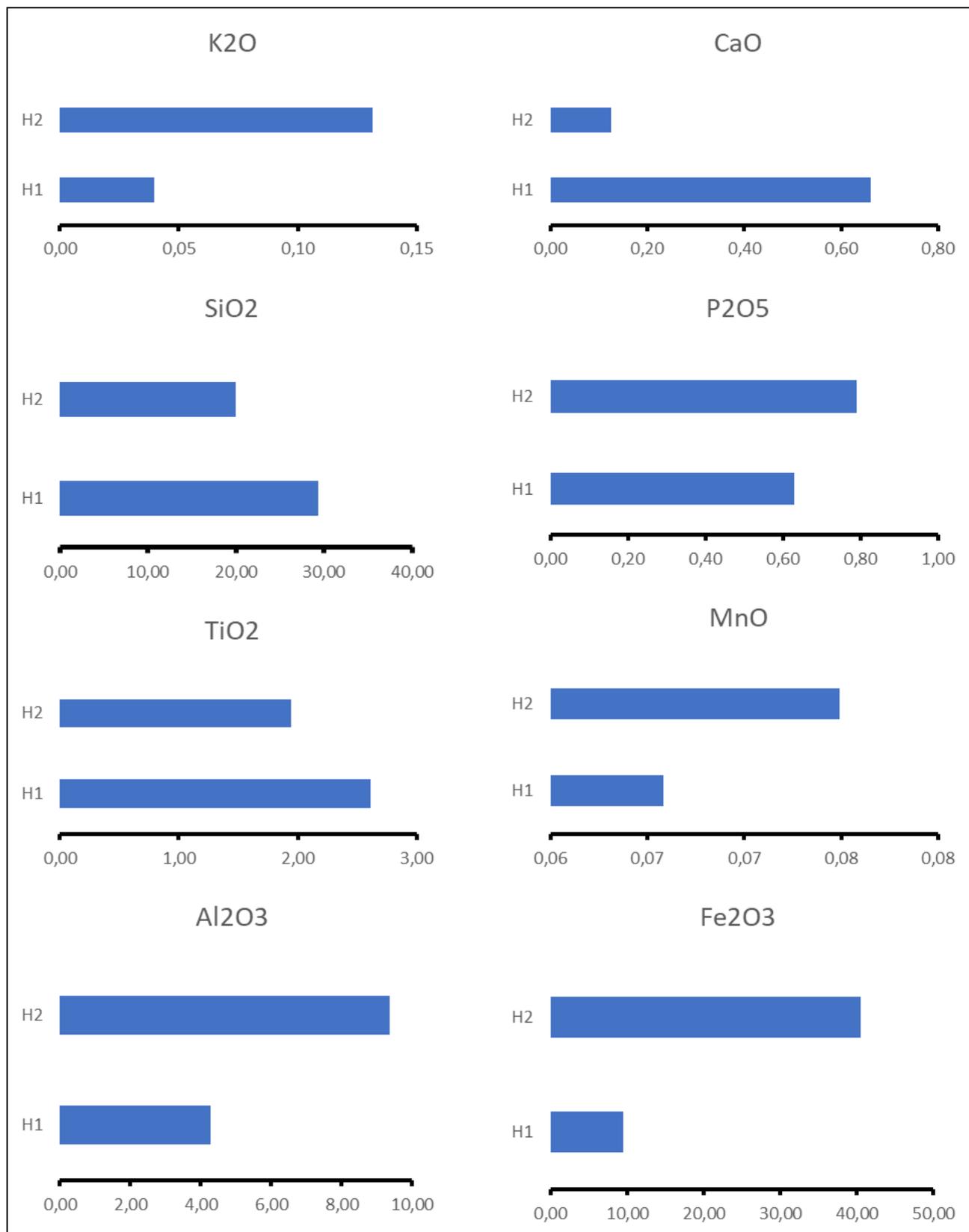


Fig. 10. Diagrammes présentant la variation des éléments majeurs dans le puits artisanal St.

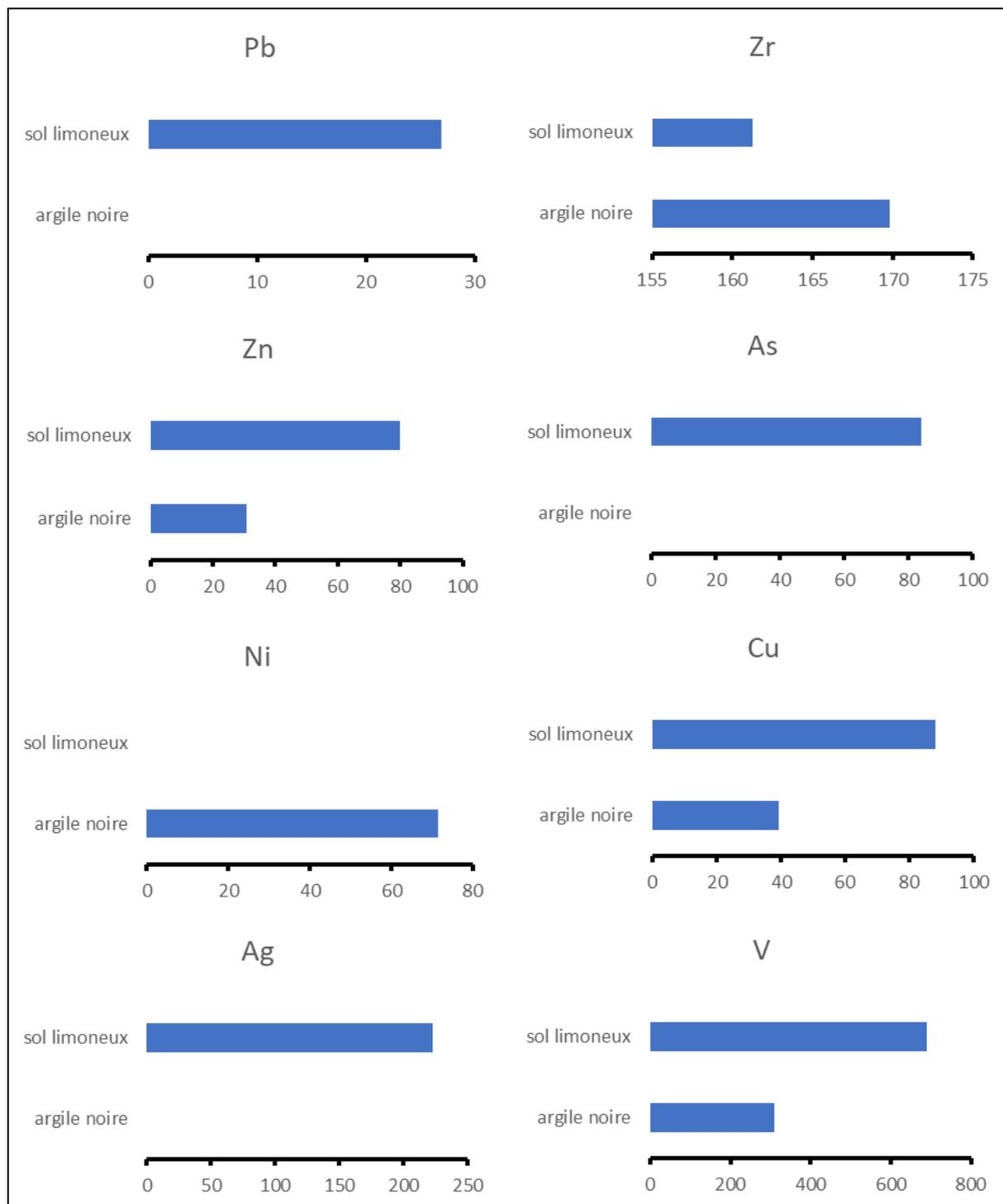


Fig. 11. Diagrammes présentant la distribution des éléments traces dans le puits artisanal Seité.

Ces horizons présentent tous des fragments de quartz de diverses variétés selon leur couleur. Cette hétérogénéité de couleur des quartz serait le témoin de la diversité de leurs origines. De même, l'aspect émoussé des cailloutis de quartz, est due au transport fluvial qu'ils ont subis comme le souligne [18] dans leurs études faites à Piéla. L'horizon argileux de base est fait d'une argile imperméable sur laquelle circule l'eau. Elle peut être bariolée ou rouge ou même noire, toutefois, elle constitue le front de tassement des éléments engagés dans le processus d'alluvionnement. Ce niveau argileux marque la limite de l'or percolé c'est d'ailleurs pourquoi, les exploitants artisanaux en font leur limite d'exploitation. Cet horizon se rencontre

dans la plupart des puits artisanaux de l'ouest de la Côte d'Ivoire puisqu'on l'observe également dans le département de Duékoué [4].

Au-dessus d'elle se trouve l'horizon tant recherché pour son abondance en or, il s'agit de l'horizon graveleuse ou d'amalgame. Les cailloutis de quartz associés aux fragments des roches environnantes constituant la source primaire de l'or s'y accumulent et concentrent par la même occasion le métal jaune. La conservation de l'or est scellée par l'horizon sus-jacent qui est argilo-sableux. Cette couverture argileuse préserve les sédiments précipités ainsi que l'or y compris.

Cet entassement dynamique des lithologies a abouti à la concentration de l'or dans les bas-fonds étudiés à Toulépleu comme cela est également le cas à Duékoué [4] et Floleu [3]. Après altération, les résidus subissent un transport fluvial. La diminution de l'hydrodynamisme de la rivière engendre le granoclassement observé dans les puits, dans lesquels on observe les graviers, le sable et l'argile. Quant aux argiles qui se trouvent sous les graviers, elles font partie de la première sédimentation, dans laquelle les matières fines préalablement déposées constituaient, les sédiments de surface du cours d'eau. Cela est conforme à l'explication des sites similaires en France [19].

La distribution des éléments géochimiques dans ces profils rend compte du dynamisme du processus alluvionnaire. La silicification est importante dans la zone minéralisée et en surface alors que l'oxyde de fer évolue contrairement à la silicification. La présence dans la zone minéralisée du soufre et aussi du zinc, arsenic et plomb témoigne de l'implication des minéraux accompagnateurs de l'or comme la blende, la pyrite, la galène et l'arsénopyrite. Les travaux de [20] sur la minéralisation de l'yt à également mis en exergue cette paragenèse métallifère.

Il ressort de cette étude que les éléments tels que le zinc, le zirconium, le strontium, le plomb, le vanadium, l'arsenic et le cuivre sont observables également dans l'horizon de recouvrement. Certains comme le plomb et l'arsenic sont enrichis dans cet horizon donc à la surface que dans la zone argileuse. Les teneurs sont faibles mais peuvent constituer un danger pour ceux qui y travaillent et surtout pour les sols utilisés pour l'agriculture.

L'or s'observe aussi bien en surface même si certains horizons présentent des teneurs élevées. Ainsi, l'horizon graveleux, quelquefois constitué de sable, d'argile, de cailloutis de quartz et de quelques rares morceaux de schistes est celui recherché par les orpailleurs.

7 CONCLUSION

La minéralisation aurifère exploitée par les exploitants artisanaux à Toulépleu est essentiellement alluvionnaire. Elle a pris forme à l'issue de processus récoltant les fragments de roches et de minéraux dans les collines environnantes suivi de leur sédimentation dans les bas-fonds. Ce type de minéralisation est facilement exploitable par la méthode artisanale.

Les profils étudiés sont constitués d'une variation de faciès qui diffèrent selon la localisation géomorphologique des puits. La lithostratigraphie montre que les puits sont constitués d'argile sableuse, de sable, d'une zone graveleuse et d'argile bariolée dans le puit Brésil 1 et d'argile rouge, d'un amalgame et d'argile sableux pour le puit Brésil 2, celui de Seité est fait de deux horizons dont un horizon d'argile limoneuse et l'autre de couverture limoneuse. L'horizon sableux a été mis en place selon un granoclassement normal. Cet horizon est celui qui est porteur de minéralisation dans ces différents puits. On y constate que l'horizon d'amalgame ou graveleuse est comprise entre deux horizons argileux ce qui a abouti à une conservation de l'or percolé.

La géochimie de ces horizons indique l'omniprésence du quartz ou sable de la surface vers la profondeur des puits avec un entassement remarquable dans l'horizon minéralisé. Par contre l'oxyde de fer est abondant avec une dispersion contraire à celle de la silice. L'or est présent dans le sable argileux mais est plus abondant dans l'horizon amalgame ou graveleux. Cet horizon est marqué également par les éléments tels que le Pb, As, Zn, Cu, et S qui entrent dans la composition des sulfures accompagnateurs d'or sont abondants dans ces horizons, en particulier celui de l'horizon sableux. La distribution du Pb et de l'As s'observe dans tous les environnements et donc leur accumulation pourrait constituer des sources de danger.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les propriétaires terriens ainsi que les acteurs des sites d'exploitation artisanales de Toulépleu et de Seité pour avoir facilité l'accès et surtout la réalisation des travaux de terrain. Les remerciements vont également à l'endroit de Kanga Koffi Olivier et Gnian Yami Guillaume pour leurs participations aux activités de terrain. Enfin, les auteurs expriment leur gratitude aux reviewers anonymes pour le rehaussement de la qualité du manuscrit.

REFERENCES

- [1] Jacques E. (2001). La mine artisanale en Afrique: aspects techniques et environnementaux. CIFEG Publication, 37, pp.87-93.
- [2] Goh D. (2016). L'exploitation artisanale de l'or en Côte d'Ivoire: La persistance d'une activité illégale. *European Scientific Journal*, 12 (3), pp. 18-36.
- [3] Coulibaly S. L., Zahui F. M., Mangoua-Allali L. C., Chérif A., Coulibaly L. (2021). Artisanal mining practice and physical impacts on the environment in the Ity-Floleu gold region, Côte d'Ivoire. *International journal of environment and climate change*, 11 (11): 17-31.
- [4] Ouattara Z., Gouédji G. F. E., Ouattara G., Kamagate B., Coulibaly Y. (2022). Evaluation of the artisanal mining activities at Doumbiadougou, Duékoué, Côte d'Ivoire: consequences on the gold mineralization and the environment. *Conf. Mining the Connections*, 25 to 27 april, Québec, Canada.
- [5] Bessoles B. (1977). Géologie de l'Afrique, Le craton Ouest-africain. Paris, B.R.GM, France, 404 p.
- [6] Djro, S. (1998). Evolutions tectono-métamorphiques des gneiss granulitiques archéens du secteur de Biankouma-Touba (Nord-Ouest de la Côte-d'Ivoire), Thèse d'Etat, Université d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 171p.
- [7] McFarlane A., Crowe M.J., Arthurs J.W., Wilkinson A.F., Aucott J. W. (1981). The geology and mineral resources of northern Sierra Leone. *Overseas Memoir. 7. Institute of Geological Sciences. Her Majesty's Stationary Office, London. 103 p.*
- [8] Camil J. (1984). Pétrographie, chronologie des ensembles granulitiques archéens et formations associées de la région de Man (Côte-d'Ivoire), Université d'Abidjan, Côte D'ivoire 306p.
- [9] Kouamelan, A.N. (1996). Géochronologie et géochimie des formations archéennes et protérozoïques de la Dorsale de Man en Côte-d'Ivoire. Implications pour la transition Archéen-Protérozoïque, Université de Rennes, France, 183p.
- [10] Boher M. (1991). Croissance crustale en Afrique de l'Ouest à 2,1 Ga. Apport de la Géochimie isotopique, Université de Nancy, France, 180 p.
- [11] Feybesse J.L., Billa, M., Guerrot C., Duguey E., Lescuyer, J.L., Milési and Bouchot V. (2006). The paleoproterozoic Ghanaian province: geodynamic model and ore controls, including regional stress modeling. *Precambrian Research*, 149, 149-196.
- [12] Doumbia S., Pouclet A., Kouamelan A. N., Peucat J.J., Vidal M., Délor C. (1998). Petrogenesis of juvenile-type Birimian (Paleoproterozoic) granitoids in central Côte d'Ivoire, west Africa: geochemistry and geochronology. *Précambrian Res.* 87, 33-63.
- [13] Coulibaly I., Kouamelan A N., Djro S.C., Coulibaly Y., (2017). Pétrographie des volcanites et plutonites de la partie Sud du sillon volcano-sédimentaire de Toumodi-Fetekro (Côte D'ivoire). *European Scientific Journal*, 13 (30): 199-230.
- [14] Papon A. (1976). Géologie et minéralisation du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire. *Mémoire BRGM*, 80, 285p.
- [15] Koffi G. R. S. (2020). Réévaluation géochimique et géochronologique des évènements orogéniques dans le domaine Archéen de la Côte d'Ivoire: implications dans la géodynamique du craton. Thèse unique, Sp. Pétrologie-Métallogénie, Univ. Félix HOUPOUET-BOIGNY, Abidjan, Côte d'Ivoire, 283 p.
- [16] Ouattara Z. (2015). Caractères lithostratigraphique, structural, géochimique et métallogénique du gisement d'or de Bonikro, sillon birimien de fettekro, centre-Sud de la Côte d'Ivoire, Thèse unique de doctorat, Spécialité: Pétrologie-métallogénie, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 330p.
- [17] LaSalle P. (1992). L'or dans les sédiments meubles: formations des placers, extraction et occurrences dans le Sud du Québec. *Edition DPV, Québec, Canada, 31p.*
- [18] Ouangrawa M., Grandin G., Parisot J.C., & Delaune M. (200). Evolution des particules d'or en milieu latéritique soudano-sahélien: alluvions et colluvions dans l'environnement d'un gîte filonien, Piéla, Burkina Faso. *Bulletin de la société géologique de France*, 171 (4): 397-405.
- [19] Peycru P., Dupin J.M., Fogelgesang J.F., Grandperrin D., Van Der Rest C., Cariou F., Perrier C., Augère B. (2008). *Géologie tout-en-un: 1er et 2e années BCPST. Edition DUNOD, Paris, (France), 658p.*
- [20] Tabaud A. S., Trap P., Marquer D., Durand C., Lescuyer J. L., Furic R. (2015). New insight on the magmatic and tectono-metamorphic evolution of the Paleoproterozoic gold-bearing Toulépleu-Ity district (SW Côte d'Ivoire). *13th SGA Biennial meeting 2015. Proceedings, Vol 4, pp. 1667-1670.*