

## Project goals – Introduction

Ce travail s'inscrit dans un contexte environnemental en lien avec l'activité minière dans l'Ouest de la Côte d'Ivoire. En effet, face à l'essor de cette activité dans le pays ainsi que les risques socio-environnementaux que cela peut engendrer, il est nécessaire d'initier des études afin d'évaluer d'éventuelles contaminations liées à cette activité. Le district des montagnes à l'Ouest du pays n'est pas en reste de cette réalité. Par ailleurs ces activités constituent l'une des principales causes de la dispersion et de l'accumulation des éléments traces métalliques (ETM) dans l'environnement Ngom *et al.*, 2020 ; Sebei *et al.*, 2005, Dan-Badjo *et al.*, 2019 ; Machacek, 2020 ; World Health Organization, 2017 ; Kinyondo et Huggins, 2021). De plus, au regard de leur caractère illégal et clandestin, elles échappent totalement au contrôle des autorités en charge de gestion de l'environnement dans plusieurs pays d'Afrique et particulièrement en Côte d'Ivoire. Ainsi, du fait de la toxicité et la spéciation des ETM dispersés et accumulés dans l'environnement, la chaine alimentaire peut être contaminée à travers les produits agricoles, les eaux de boissons et l'inhalation d'air pollués (Varrica *et al.*, 2014 ; Dan-Badjo *et al.*, 2013) et par conséquent causer de graves problèmes de santé publique. Une connaissance approfondie des concentrations en ETM et leur distribution dans l'environnement s'avère indispensable pour une gestion durable des sols et des ressources en eau ainsi pour la protection de la santé des populations. En ce sens, plusieurs études ont examiné et évalué les nuances environnementales de ces exploitations minières anarchiques dans certaines régions du pays. Ces études sont axées sur la qualité des eaux et l'impact socio-économique. Les rares études sur la qualité des sols, sont celles (Coulibaly *et al.*, 2021) ainsi que nos travaux de recherche de master initiés par le Laboratoire Mixte International MINERWA et réalisés en 2022 qui ont révélé une pollution polymétallique caractérisée par des index de pollution supérieur à 1 (N'cho *et al.*, 2023). Les objectifs traités au cours de cette première étape sont: I) caractériser les résidus solides issus des environnements miniers artisanaux et de certains affleurements, II) caractériser les eaux des environnements miniers et leur proximité.

### Methods

La méthodologie proposée pour cette recherche est pluridisciplinaire, en effet elle a débuté dans un premier temps par des activités théoriques (recherches documentaires), suivie de travaux de terrain notamment la phase d'échantillonnage et d'analyse *in situ*, enfin nous aurons la phase d'analyse au laboratoire et la rédaction du document. L'échantillonnage a duré 2 à 3 mois et a concerné les roches, les sols, les sédiments et les eaux. En somme, 40 échantillons de roches, 168 sols, 36 sédiments le long du cours d'eau Cavally, et 40 échantillons d'au. Cette campagne d'échantillonnage était couplée aux analyses *in situ* des paramètres chimiques des eaux à l'aide du multi-paramètre et le kit de mesure l'arsenic.

Les échantillons d'au et de sédiments ont été transportés à froid (4 °C) dans une glacière jusqu'au laboratoire après avoir ajout l'acide nitrique pour inhiber les réactions. Les analyses géochimiques ont été effectuées à l'aide l'ICP-MS à HSM Montpellier (France).

Les roches été décrites macroscopiquement , ensuite les 17 lames minces ont été confectionnées en Côte d'Ivoire, dont 6 lames à l'Université FHB de Cocody et 11 à l'INP-HB à Yamoussoukro. Les observations microscopiques (lumière transmise et réfléchie) ont lieu à l'Université de Man, Côte d'Ivoire en vue de déterminer les noms des roches et caractériser les sulfures (minéraux primaires métaux et métalloïdes) en association avec l'or . Pour la géochimie, les roches ont été broyées à d'une broyeuse mécanique soigneusement nettoyée à l'aide d'alcool et d'eau distillée après chaque échantillon. Une fois broyée, la poudre est tamis de 2mm et le tamisât est récupéré et utilisé pour l'analyse. Les échantillons ont été analysés grâce au spectromètre de rayonnement fluorescence x (xrf) à Fl'U-FHB, calibré en mode soil afin de déterminer les éléments majeurs (Al, Ca, Fe, K, Mg) et les concentrations des éléments traces (Ag, As, Au, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Ti, V,Zn).

Les données ont subi un test de statistique descriptive pour déterminer les concentrations moyennes dans les roches et résidus solides, qui sont ensuite comparées aux valeurs moyennes de la croute continentale supérieure.

### Repérage + description des sites d'orpaillage



A

### Echantillonnage



B



C



Test de l'arsenic



Description d'un ancien site



## Results

Les observations macroscopiques et la microscopiques ont révélé des textures de roches métamorphiques avec des compositions dominées par le quartz, les micas (biotite, muscovite) les feldspaths (plagioclase, microcline et orthose) et certains minéraux d'altération chlorite, épidote et séricite). Cette approche microscopique des échantillons provenant de sites miniers, de nature schisteuse (micaschistes et schiste) indique l'or dans cette zone se trouve dans les filons de quartz et les formations volacno-sédimentaires. La caractérisation métallographique de ces résidus solides abondamment sulfurés a révélé que l'or est en association avec la pyrite, la pyrrhotite, la chalcopryrite la magnétite et l'arsénopyrite.

La géochimie xrf a révélé que de manière générale, les roches contiennent métaux et métalloïdes à concentrations variables notamment avec des valeurs extrêmes, ce en fonction du lieu de prélèvement. La statistique descriptive sur ces données indique que les roches prélevées sur les affleurements, présentent des concentrations moyennes en As, Mn, Pb, Ti et Zn inférieures aux concentrations moyennes de l'UCC. Cependant les autres éléments Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Ni, Sb et V sont largement (environ 2 à 100 fois) supérieures aux valeurs moyennes de l'UCC. Quant aux roches provenant de sites et anciens sites d'activité minière, il ressort que le Fe et le Mn ont des teneurs qui se rapprochent de celles de l'UCC contrairement aux concentrations du Pb, Ti et Zn pour lesquelles il y a un appauvrissement. Le As, le Cd, le Co, le Cr, le Cu, le Ni, le Sb et le V présentent un fort enrichissement allant 2,7 à 120 fois supérieures aux valeurs moyennes de l'UCC.. La mesure *in situ* de certains paramètres physico-chimiques notamment le potentiel redox, le pH, l'oxygène dissous, la conductivité, le total des solides dissous (TDS) ainsi que la turbidité renseignent sur la qualité et les propriétés physico-chimiques des ressources en eau. Les résultats présentent des pH allant de 2,48 à 7,62, des eaux troubles avec des valeurs conductivité comprises entre 17 et 7038  $\mu S.cm^{-1}$ . Les tests de l'arsenic *in situ* présentent des concentrations variant entre 0 et 100  $\mu g/l$ . L'analyse ICP-MS des échantillons d'eau a produit des concentrations en métaux et métalloïdes respectant les normes dans les eaux à l'exception du fer qui présente des concentrations moyenne 4 fois supérieure aux normes OMS (2017).

## Discussion -Conclusions

L'étude microscopique a révélé une abondance de sulfures dans les échantillons étudiés. Ce qui a été confirmé par les concentrations moyennes élevées à travers l'analyse géochimique. De plus de cette richesse en minéraux sulfurés, cette région montagneuse a une forte pluviométrie s'étendant une longue période avec des précipitations annuelles allant de 1300 à 3000mm qui pourraient favoriser l'oxydation des sulfures notamment la pyrite, conduisant ainsi au drainage d'acide minier. Ainsi l'oxydation de certains sulfures, minéraux primaires, notamment la pyrite pourrait induire des eaux à pH très bas et riches en fer et sulfates et aboutir aux drainages acides miniers. Ce qui permettrait la mise en solution des métaux (Co, Cr, Cu, Mn, Ni et V) et métalloïdes (As) contenus dans les stériles rocheux abandonnés sur les sites miniers artisanaux, les rendant ainsi disponibles pour l'environnement notamment dans les eaux de surface et souterraines (**Laperche, 2003**). Ces sites se trouvent en majorité dans l'environnement immédiat des cours d'eau et marigots et principalement le fleuve Cavally qui servent au lavage du minerai. L'homme court donc des risques d'exposition à ces éléments dangereux pour la santé à travers la consommation d'eau et de denrées alimentaires polluées.

L'analyse des paramètres physico-chimiques des eaux a révélé des eaux acides et troubles. D'une manière générale, les eaux issues de procédés d'extraction d'or par cyanuration sont les plus contaminées suivies des eaux de surface de certains sites. Par contre, les eaux souterraines respectent les normes réglementaires de potabilité de l'OMS. La comparaison des teneurs en As obtenues *in situ* à celles obtenues au laboratoire a révélé qu'il n'existe aucune régression linéaire entre ces valeurs. Dans les eaux souterraines et les eaux de surface, les résultats obtenus ont montré la présence de certains ETM (As, Cu, Cr, Ni et Pb). Sur la base des résultats de laboratoire, aucune des concentrations en ETM n'est supérieure aux valeurs limites recommandées par l'OMS pour la qualité de l'eau de boisson. Cependant, avec l'intensification des activités d'orpaillage, ces éléments chimiques pourraient engendrer des risques environnementaux et sanitaires.

