Journal of Geospatial Science and Technology, 5 (1): 40-55, 2024
ISSN: 2756- DOI: https://doi.org/10.54222/jgst.2024.qkhvx1pd
Accepted: November 18, 2024

Analyse Spatiale pour les évaluations Environnementales de la Carrière de Concassage de Gneiss de la Commune Kozah 1 de Kara, Togo

SEBA Badjibassa[1], SOUSSOU Tatongueba[2]

[1]Université de Kara, Togo, badjiseba@gmail.com
[2]Maître de Conférences, Université de Kara, Togo, denis.soussou@gmail.com

Résumé

La carrière de concassage de gneiss au nord de la ville de Kara au Togo, représente un risque dans son milieu récepteur. L'objectif de cette étude vise à mettre en exergue l'utilisation de la cartographie et du système d'Information Géographique (SIG) dans l'identification des impacts environnementaux et sociaux. La méthodologie est basée d'une part sur la collecte des données primaires à partir d'un questionnaire d'enquête conçu dans Epidata et administré à 88 ménages et d'autre part sur la collecte des données secondaires. Aussi, l'acquisition des images satellitaires Landsat 8 de 2015 et 2022 a-t-elle permis de mettre en évidence la végétation à travers le NDVI. Les données collectées sont ensuite traitées au moyen du logiciel SPSS. Les tableaux et les figures ont été faits au moyen du logiciel Excel et les cartes réalisées grâce aux logiciels ArcGIS Pro 3.0 et QGIS 3.10. Les résultats de l'étude ont permis de générer une carte d'analyse spatiale montrant les ménages touchés par un tir de dynamitage. L'analyse de la typologie des impacts a montré que ceux relatifs à la nuisance sonore et olfactive sont plus remarquables avec respectivement 78,30 % et 11,90%. Quant à la fissuration des murs de maisons indue par l'activité de la carrière, elle représente 91,70%. In fine, l'étude a permis la conception d'une géodatabase des ménages à des fins d'analyse spatiale pour la gestion de risques futurs.

Mots clés : Evaluation environnementale ; SIG ; Analyse spatiale ; Carrière de concassage ; Ville de Kara

---

Spatial Analysis for Environmental Assessments of the Gneiss Crushing Quarry in the Kozah 1 Commune of Kara, Togo.

Abstract

The gneiss crushing quarry to the north of the town of Kara in Togo poses a risk to its receiving environment. The aim of this study is to highlight the use of cartography and the Geographic Information System (GIS) in the identification of environmental and social impacts. The methodology is based, on the one hand, on the collection of primary data from a survey questionnaire designed in Epidata and administered to 88 households and, on the other hand, on the collection of secondary data. The acquisition of Landsat 8 satellite images from 2015 and 2022 was used to highlight vegetation through NDVI. The data collected was then processed using SPSS software. Tables and figures were produced using Excel, and maps using ArcGIS Pro 3.0 and QGIS 3.10. The results of the study were used to generate a spatial analysis map showing households affected by blasting.
Analysis of the typology of impacts showed that those relating to noise and olfactory nuisance were the most noteworthy, accounting for 78.30% and 11.90% respectively. Cracking of the walls of houses damaged by quarry activity accounted for 91.70%. In fine, the study enabled the design of a household geodatabase for spatial analysis purposes in future risk management.

Key words: Environmental assessment; GIS; Spatial analysis; Crushing quarry; City of Kara

1. Introduction

La nécessité de développer et de mettre en place des outils de gestion des territoires pour préserver le milieu biophysique et humain est une tâche incontournable. Ainsi, parmi les instruments et outils juridiques définis à l'échelle mondiale et locale, figurent les évaluations environnementales (EE). Elles sont regroupées en deux (2) catégories d'outils à savoir : i) les outils prospectifs de gestion préventive et anticipative de l'environnement ; et ii) les outils de contrôle et de gestion environnementale (Guèdègbé, 2012). Une kyrielle de méthodes d'EE définies par Leduc et Raymond (2000), permettent d'identifier les impacts potentiels et/ou réels environnementaux que vont subir les milieux récepteurs des projets ou activités d'aménagements afin de proposer des mesures de gestion environnementale efficaces. Il est à noter que ces méthodes ne se nourrissent pas suffisamment de l'opportunité qu'offrent les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG). La méthode de Cartographie et SIG est faiblement utilisée dans la détermination des impacts environnementaux et sociaux dans les EE (Leduc et Raymond, 2000). De ce fait, on note ainsi une faible exploitation des informations à caractère géospatiales utiles à la préservation des milieux récepteurs de projets ou d'activités contre toutes sortes de nuisances ou de danger. Cette méthode emmène l'évaluateur à la collecte, et la manipulation des données géospatiales à l'aide des logiciels de cartographie, de télédétection et voire de statistique.

Dans la plupart des pays d'Afrique et d'ailleurs, il est exigé pour des projets, plans, et programmes (PPP) de mener une évaluation environnementale, et selon la nature du projet, un outil (Etudes d'Impacts Environnemental et Social (EIES), Evaluation Environnemental Social Stratégique (EESS), Audit Environnemental et Social (AES)) est utilisé pour connaitre les impacts potentiels et /ou réels par des méthodes bien appropriées. L'EE ainsi faite, permet d'intégrer l'aspect environnemental dans les PPP. Ceci permet de prendre en amont des mesures d'atténuations voire de suppression des impacts par l'élaboration d'un Plan de Gestion Environnementale et Sociale (PGES) ou d'un Plan de Gestion de Risques (PGR) (Yelkouni et Ngo-Samnick, 2019). Aussi l'usage des SIG permettrait-il de rendre plus efficaces les EE par l'optimisation de l'utilisation de l'information géospatiale.

Au Togo, la loi-cadre sur l'environnement reconnait les EE comme des outils de gestion de l'environnement. La réalisation d'une EIE (un outil des EE) nécessite, la collecte, la saisie, la mise à jour et la représentation des données (géologiques, environnementales, socio-économiques etc.). La méthode Cartographie et SIG serait l'outil par excellence pour une utilisation efficace de ces différentes informations à travers les systèmes de base de données géo relationnelles (SBDGR) qu'elle permet de mettre en place et les éléments biophysiques et humains qu'elle permet de représenter par des cartes.

La ville de Kara connait depuis quelques décennies l'installation des unités industrielles de transformation. Le développement du réseau routier n'en est pas du reste. Elle a connu le développement des activités industrielles tant au centre qu'à sa périphérie. Ces activités ne sont pas sans conséquence sur l'environnement et le cadre de vie des populations. Le constat fait est qu'il existe des habitations, des activités économiques et les équipements recevant du public dans les zones directes des carrières, mettant en cause la sécurité des biens et des personnes, la qualité de l'environnement et l'aspect esthétique du paysage. Le développement des pôles d'activités à la périphérie de la ville et ses environs tels la carrière de concassage de gneiss à Lama par l'entreprise BONKOUNGOU Mahamadou et Fils (EBOMAF) en est une parfaite illustration.

Cette unité, comme toutes les autres implantées dans l'espace périurbain de Kara, a fait objet d'une EE (EIES) avant son exploitation et d'un AES lors de son exploitation. La présente recherche porte sur cette unité parce qu'elle est installée sur un territoire en pleine mutation qui se doit de concilier développement économique et préservation de l'environnement, et du cadre de vie des populations dans une vision de développement durable (Brundtland, 1987).

L'étude vise à mettre en exergue l'utilisation de la méthode Cartographie et SIG pour une aide à la prise de décision face aux impacts environnementaux générés par les activités de la carrière de concassage de gneiss de Lama Poulou dans son environnement immédiat dans la commune Kozah 1. Spécifiquement, il s'est agi d'identifier les habitations touchées par les tirs de dynamitage et de relever quelques composantes de l'environnement dégradées suite à l'installation de la carrière de concassage de gneiss.

Le site de concassage de gneiss à la périphérie de la ville de Kara de la Commune Kozah 1 de la Région de Kara au Nord –Togo s'y prête bien pour cette étude. Cet article s'articule autour de trois points : le premier point met en relief la zone d'étude et l'approche méthodologique de la recherche ; le second, présente les résultats obtenus tandis que le dernier point est consacré à la discussion desdits résultats.

2. Matériel et méthodes

2.1. Présentation du milieu d'étude

Localisé entre 1°10'32'' et 1°10'55'' de longitude Est et entre 9°37'19'' et 9°37'32'' de latitude Nord, le site de la carrière d'EBOMAF se situe en périphérie de la ville de Kara, dans la commune Kozah 1 et précisément dans le village de Lama Poulou au Nord-ouest du marché de la ville de Kara à environ trois kilomètres du carrefour Lama (figure 1).

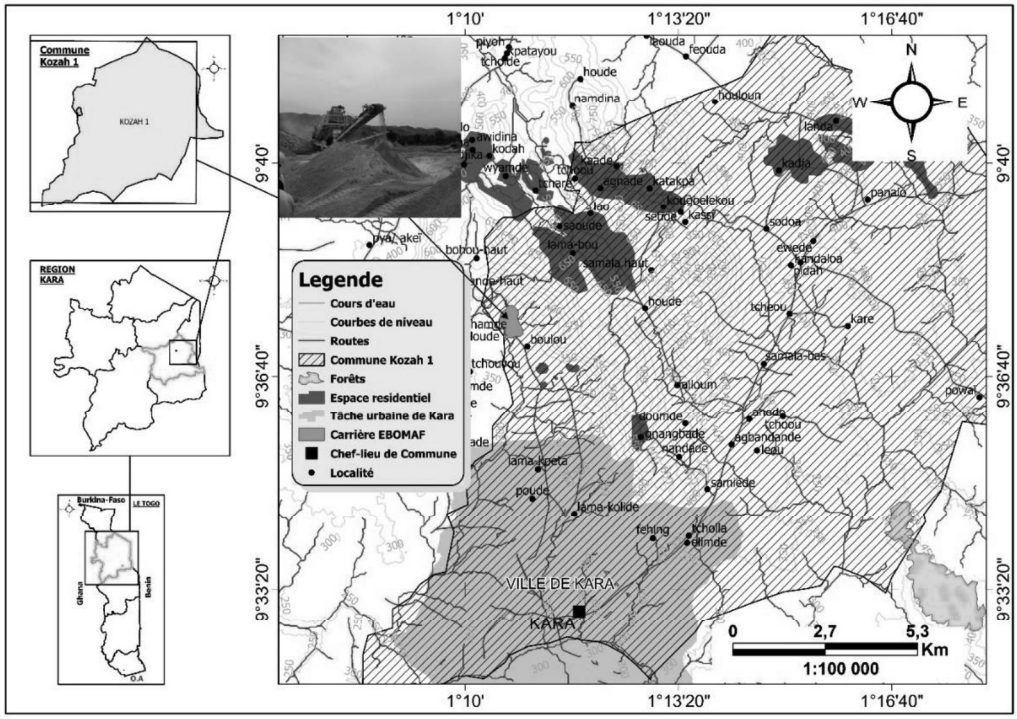

Figure 1 : Situation géographique du site de la carrière de concassage de gneiss
Source : Données IGN Togo et OpenStreetMap, SEBA, novembre 2022

Il couvre une superficie de huit hectares. La carrière fonctionne 24h/24. Elle est spécialisée dans la production de granulés devant servir essentiellement à la réalisation

des infrastructures routières. Le site d'étude appartient aux formations de Lama-Kara du socle géologique du dahomeyen. Elles sont essentiellement constituées d'orthogneiss à muscovite dérivant de granites calcoalcalins à deux micas (Faure, 1985). L'affleurement d'orthogneiss constitue une potentialité pour l'empierrement et le bitumage des voies. Le relief sur lequel repose le site se situe dans la zone du socle de la plaine du Benin qui comprend le plateau de Niamtougou constitué de gneiss et d'amphibolites, et la plaine constituée de granite porphyroïde à deux micas. Les sols appartiennent quant à eux à l'unité de la plaine du Benin. Ses sols sont nourris par l'apport des cours d'eau en alluvions en période de saison pluvieuse. Le site se retrouve dans le bassin versant hydrographique de la rivière Kara qui couvre 5287 Km² avec 87% de la superficie dans la partie togolaise et 13 % au Benin (Badjana *et al.*, 2017). Il est drainé par des cours d'eau des sous-bassins versant de ladite rivière. On rencontre dans la zone des formations de savane arborée et de forêt claire avec des essences telles que *Manguifera indica, Borassus aethiopum, Senna siamea, Khaya senegalensis, Bligia sapida, Eucalyptus sp., Ceiba pentandra, Cocos nucifera, Phoenix dactylifera,* etc. Le site jouit d'un climat soudano-guinéen avec deux saisons toute l'année, une saison pluvieuse et une saison sèche. La moyenne pluviométrique annuelle est de 1200 mm tandis que la température moyenne est de 28° C. La zone d'étude regorge des habitations ainsi que des équipements recevant du public (ERP) tels que les églises, centre de santé, écoles, et mosquées.

2.2. Méthodes

La collecte de données s'est faite en deux étapes : une première a concerné la collecte de données primaires et la seconde, la collecte de données secondaires. Cette méthodologie a abouti à la constitution d'une géodatabase.

2.2.1. Collecte de données primaires

Enquête de terrain

Elle s'est basée sur la détermination de l'échantillon de la population à enquêter. Elle a permis la prise de photos, et points GPS lors de la collecte de données. Aussi, l'observation sur le terrain a-t-elle permis de faire des constats en recueillant des données qualitatives.

Echantillonnage

Cet échantillonnage s'est fait par choix raisonné avec un intervalle de confiance de 95% et une marge d'erreur de 5%. La formule de Rea *et al.* (1997) a été utilisée pour le calcul de la taille de l'échantillon.

$$n=\frac{t^2_p \times P(1-P)\times N}{t^2_p\times P(1-P)+(N-1)\times y^2}$$

Avec :
n : taille de l'échantillon ;
N : taille de la population cible, réelle ou estimée ;
P : proportion attendue d'une réponse de la population ou proportion réelle (50%) ;
tp : intervalle de confiance d'échantillonnage ;
y : marge d'erreur d'échantillonnage. (+/- 5%) ;

Estimation de la population

En considérant que Kara comptait 94878 habitants en 2010, et que le taux de croissance annuel sur le plan national était de 2,42%, nous avons estimé la population de Kara en 2020 par la formule de projection de la population sous l'hypothèse d'évolution géométrique.

$$P_f = P_i(1+i)^{\wedge t}$$

Avec :

Pf : Population estimée de 2020 ;

Pi : Population initiale de 2010 ;

t: Nombre d'années d'observations ;

r : Taux de croissance annuel ;

Ainsi, nous avons:

P (2020) = 94 878 *(1+0.0242)^{10}

P (2020) = 120 507 habitants

La population urbaine de Kara est estimée sur la base de l'hypothèse d'évolution géométrique à 120 507 habitants en 2020.

Nous avons déduit la taille de l'échantillon par l'opération suivante :

N= (1,96) ^2*0.5*(1-0.5) *136444/ (1.96) ^2*0.5*(1-0.5) +(136444-1) *(0.05) ^2

N= 383 habitants

L'on ajoute 10% absorbant les pertes liées aux enquêtes de terrain.

Taille de l'échantillon = 421 habitants

Nombre de ménages enquêtés :

En considérant que la taille moyenne des ménages au Togo est de 4,8 personnes en 2010, la taille moyenne de l'échantillon des ménages à enquêter dans le cadre de cette recherche est déterminée de la façon suivante :

Nombre de ménages enquêtés = 421 / 4,8 = 88 ménages

Cet échantillon est essentiellement constitué de riverains de l'unité retenue (Figure 2).

Figure 2 : Répartition spatiale des ménages enquêtés
Source : Google Earth, données de terrain, SEBA, novembre 2022.

La figure 2 montre la répartition spatiale des ménages enquêtés dans la zone d'influence directe de la carrière. Le rectangle en rouge situe le site de la carrière et les points en couleur bleue correspondent aux coordonnées GPS des ménages enquêtés.

La collecte des données de terrain s'est faite à travers des questionnaires d'enquêtes, des interviews et des guides d'entretien. Cette collecte de données s'est faite de façon informatisée à l'aide des masques de saisie conçus sous Epidata.

2.2.2. Les données secondaires

Elles sont qualifiées de données froides car issues des documents et institutions qui disposent des données relatives à la zone d'étude. Les ouvrages, les articles et revues ont été consultés. Les données relatives au recensement de la population et de l'habitat de 2010 (DGSCN, 2010) et d'enquêtes ayant traité de cette thématique ont fait également l'objet d'une consultation. Une fois les données obtenues, elles ont été traitées pour en extraire les informations utiles.

2.2.3. Données cartographiques et outils utilisés

Données utilisées

Pour la collecte des informations planimétriques, les données suivantes ont été utilisées :

- SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) de 2000 avec une résolution spatiale de 30 m, téléchargées sur le site GLCF des USA. Cette image a servi à l'extraction de l'hydrographie et à la délimitation des bassins versants de la zone d'étude ;
- Image Landsat 8 OLI-TIRS du 20 novembre 2015 et celle du 09 décembre 2022, de 30 m de résolution spatiale, utilisées pour calculer l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI). Elles ont été acquises gratuitement sur le site https://www.usgs.gov .
- Carte topographique de la feuille NC-31-VIII-3a de Kara au 1/50 000 de l'Agence Japonaise de Coopération Internationale (JICA) de 2013, utilisée pour l'extraction des voies de communication et l'identification de la toponymie ;
- Données OpenStreetMap (OSM) de 2022 pour l'identification du réseau de voirie et de l'aire urbaine de la ville.

Outils utilisés

La collecte et le traitement des données sont faits à partir de certains outils que sont :

- La tablette avec GPS (Global Positioning System) intégré: Application GPS Waypoint pour la prise de coordonnées géographiques ;
- Les fiches de questionnaire et guide d'entretien ;
- Le tableur Excel pour la réalisation des tableaux et graphiques ;
- Le logiciel statistique Epidata pour le masque de saisie et SPSS pour l'analyse statistique ;
- Les logiciels ArcGIS Pro 3.0 et QGIS 3.10 pour l'analyse spatiale et la réalisation des cartes.

2.2.4- Traitement des données

Les diverses données recueillies sur le terrain et celles téléchargées sur les sites internet sont soumises à un traitement pour en ressortir l'information utile pour cette étude. Aussi l'extraction des données numériques et de toponymie ont - elles permis de faire la superposition des différentes couches pour l'analyse spatiale et la réalisation des cartes (Leduc et Raymond, 2000). En effet, les données collectées à l'issue des questionnaires d'enquêtes et guide entretien, ont été dépouillées et saisies dans le logiciel statistique Epidata. Elles ont été ensuite apurées dans le logiciel statistique SPSS pour les analyses.

Les logiciels ArcGIS Pro 3.0 et QGIS 3.10 ont permis de traiter les données SRTM pour en ressortir les courbes de niveau, les cours d'eau et les bassins versant, d'intégrer les couches shapefiles extraites de la plateforme OpenStreetMap, de projeter les points GPS collectés, de géoréférencer la carte topographique de la feuille NC-31-VIII-3a de Kara au 1/50 000, et de concevoir les différentes cartes.

L'extraction des cours d'eau et leur classification par la méthode de Strahler, l'extraction du bassin versant de Kara et des sous-bassins versants, sont fait dans le logiciel ArcGIS Pro 3.0 en utilisant respectivement les algorithmes « *fill* », « *Extract by polygon* », « *Flow direction* », « *Flow accumulation* », «*Con*», «*Stream Order* », « *Stream to feature* » et « *Watersheed* » de la sous boite à outils de « Hydrology » et « Conditional » de la boite à outils « **Spatial Analysis Tools** ».

Les distances d'impact du dynamitage à partir du point de tir de la carrière pour la conception de la carte d'analyse spatiale ont été généré grâce à l'algorithme « *multiple Ring Buffer* » de la boite à outils « **Analysis Tools** ».

Le NDVI a été généré en utilisant la bande 4 correspondant au rouge (R) et la bande 5 correspondant au proche infrarouge (PIR) des images Landsat de 2015 et 2022 dans ArcGIS Pro en exécutant l'outil « *Raster Calculator* » de la boite à outils « *Analysis* », sur la base de la formule suivante :

$$\mathbf{NDVI} = \frac{\text{PIR- R}}{\text{PIR+R}}$$

Les caractéristiques des images Landsat 8 sont consignées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques des images Landsat 2015 et 2022

Caractéristiques générales			
Type de capteur	Landsat 8 (OLI &TIRS)		
Path / Row	193 / 053		
Caractéristiques de chaque bande			
Numéro	**Bande**	**Résolution spatiale**	**Bande spectrale (µm)**
1	Coastal / Aérosol	30m x 30m	0.435 – 0.451
2	Bleu	30m x 30m	0.452 – 0.512
3	Vert	30m x 30m	0.533 – 0.590
4	Rouge	30m x 30m	0.636 – 0.673
5	Proche Infra Rouge	30m x 30m	0.851 – 0.879
6	SWIR-1	30m x 30m	1.566 – 1.651
10	TIR-1	100m x100m	10.60 – 11.19
11	TIR-2	100m x100m	11.50 – 12.51
7	SWIR-2	30m x 30m	2.107 – 2.294
8	Panchromatique	15m x15m	0.503 – 0.676
9	Cirrus	30m x 30m	1.363 – 1.384

Source : https://www.usgs.gov/

3. Résultats

Cette étude a abouti à la constitution d'une géodatabase, la réalisation d'une carte d'analyse spatiale et les statistiques spatiales y afférentes des ménages touchés, et la carte de l'indice de végétation par différence normalisée (NDVI).

3.1- Constitution d'une géodatabase

L'enquête de terrain dans la zone d'influence de la carrière, a permis de créer une base de données (géodatabase) à des fins d'analyse spatiale (Figure 3).

Distancetampon_Intersect

Field: Add Calculate | Selection: Select By Attributes Zoom To Switch Clear Delete Copy

	OBJECTID *	Shape *	FID_Poin...	distance	X_D	Y_D	Z	Proprietaire de la...	Periode _installation	Pollution	Type_pollutio...	Type_pollution2	Type...	Desagrement1
1	1	Point	6	2000	1.181192	9.616717	304.4876247	Oui	après le projet	Oui	air	Sonore	0	fissure de mûr d'1
2	2	Point	6	2000	1.18077	9.61677	303.388311	Oui	Avant le projet	Oui	olfactive	Sonore	air	Destruction de tc
3	3	Point	6	2000	1.180242	9.616877	305.5890899	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	air	0	fissure de mûr d'1
4	4	Point	6	2000	1.182335	9.616878	304.8851391	Oui	Avant le projet	Oui	olfactive	air	Sonore	fissure de mûr d'1
5	5	Point	6	2000	1.180798	9.61738	305.1870143	Oui	Avant le projet	Oui	olfactive	Sonore	0	vibration du sol
6	6	Point	6	2000	1.180875	9.617385	306.2868595	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
7	7	Point	6	2000	1.182262	9.617395	311.684223	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
8	8	Point	6	2000	1.183317	9.617738	319.2815313	Non	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
9	9	Point	5	1000	1.182057	9.619343	310.1806343	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
10	10	Point	5	1000	1.182292	9.61942	316.8800337	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
11	11	Point	5	1000	1.182087	9.619492	311.1802749	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
12	12	Point	5	1000	1.182787	9.619523	316.6788871	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
13	13	Point	5	1000	1.182943	9.619525	315.6785875	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
14	14	Point	5	1000	1.182725	9.619622	317.1788029	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
15	15	Point	4	800	1.180997	9.619913	303.7814758	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	air	fissure de mûr d'1
16	16	Point	4	800	1.180065	9.620812	301.5814078	Oui	Avant le projet	Oui	olfactive	Sonore	air	fissure de mûr d'1
17	17	Point	4	800	1.180045	9.620955	300.5811537	Oui	Avant le projet	Oui	olfactive	air	0	fissure de mûr d'1
18	18	Point	4	800	1.180462	9.621402	299.8794548	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	olfactive	0	fissure de mûr d'1
19	19	Point	5	1000	1.169397	9.626187	322.1907515	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	air	0	fissure de mûr d'1
20	20	Point	6	2000	1.166728	9.626287	326.9956255	Oui	Avant le projet	Oui	Sonore	air	0	fissure de mûr d'1

0 of 43 selected Filters: 110 %

Figure 3 : Extrait de la table des attributs de la géodatabase des ménages enquêtés et des infrastructures
Source : D'après les travaux de terrain, novembre, 2022.

La figure 3 montre une capture d'écran d'une partie de la base de données qui a été constituée dans le logiciel ArcGIS Pro 3.0 en faisant une jointure spatiale des données géorefencées avec celles issues de l'enquête. Elle permettra à l'équipe en charge de la surveillance de la carrière, d'anticiper les risques de dommages sur les concessions et les ménages vulnérables.

3.2. Carte d'analyse spatiale

A l'issue de la constitution de la géodatabase, une carte intuitive d'aide à la décision face au risque d'impact a été générée pour analyser spatialement les ménages touchés, les équipements recevant du public (ERP) et certaines composantes environnementales touchées tels que les cours d'eau et les sous-bassins versants de la rivière Kara dans lesquels la carrière est installée (Figure 4).

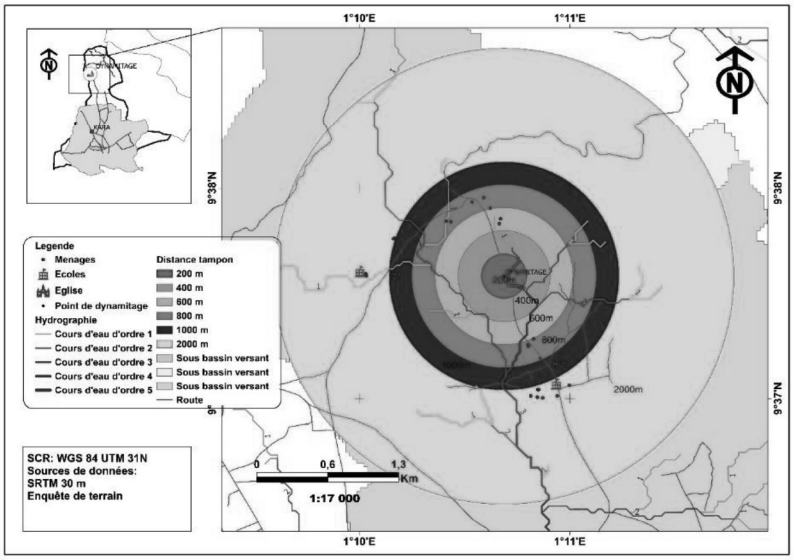

Figure 4 : Carte d'analyse spatiale des ménages touchés
Source : D'après les travaux de terrain, novembre, 2022.

L'analyse de la figure 4 montre des cercles concentriques représentant les distances en mètre à partir du point de dynamitage. C'est une méthode utilisée en analyse spatiale pour mesurer la proximité d'un point par rapport à un objet géographique. Elle a permis aussi de représenter l'influence de la carrière vis-à-vis des bassins versants et des cours d'eau. *In fine* cette figure offre un aspect visuel à travers une carte, les risques potentiels que peuvent subir les ménages et ERP dans la zone de la carrière.

Les zones tampons de 200 à 2000 m générées, ont permis de repérer les ménages touchés par les activités de dynamitage de la carrière. En effet, le choix de ses distances est fait en partant de l'hypothèse qu'il n'y aurait pas de présence humaine face au risque que représente le tir de dynamitage et les activités liées à l'exploitation de la carrière lors des études d'impacts environnemental et social (EIES).

3.3. Statistiques spatiales

En considérant que les données suivent une distribution normale (loi normale de Gauss), la statistique spatiale a permis d'identifier et de relever le nombre de ménages touchés à travers les zones tampons (Figure 5).

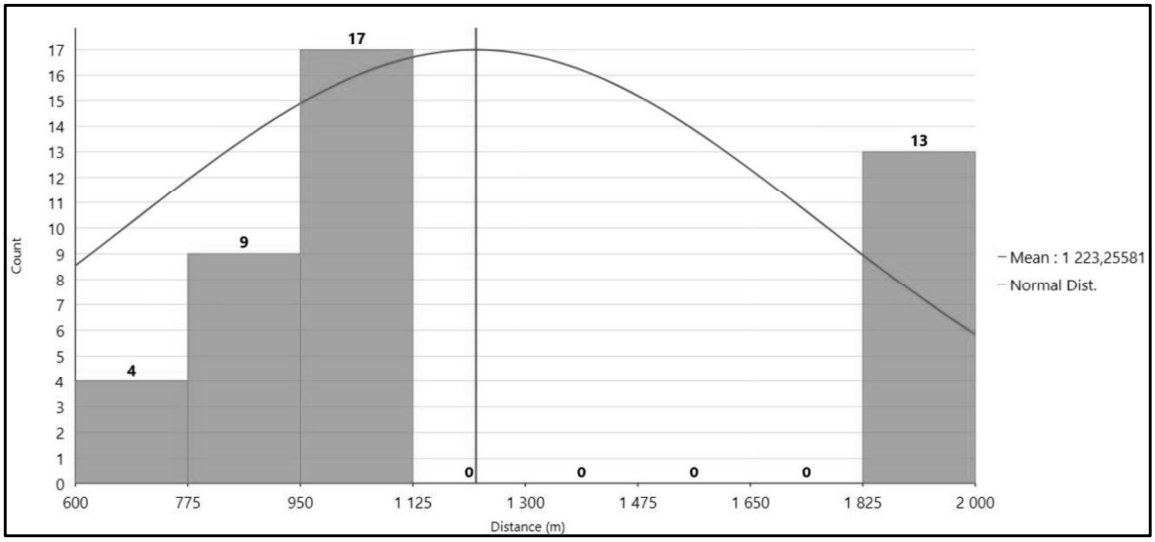

Figure 5 : Statistiques descriptives des ménages touchés par les tirs de dynamitage
Source : D'après les travaux de terrain, novembre, 2022

L'analyse de la figure 5 montre une distribution quantitative des ménages touchés à travers la courbe de la loi normale. En effet, c'est à partir d'une distance de 600 m que l'impact du tir de la carrière touche les ménages. De 600 m à 775 m, 4 ménages sont impactés De 775 inclus à 950 m, 9 ménages y figurent. Le plus grand nombre de ménages se retrouvent dans l'intervalle de 950 m à 1125 m. Dans la zone de 1825 m à 2000 m, 13 ménages sont susceptibles de ne pas subir ou de ressentir d'impact direct.

Au vu de l'analyse de l'impact du tir et du nombre des ménages touchés, on peut relever qu'il y a des risques de sécurité et de dommages dans un rayon de 1125 m. Il est à noter que le lieu du tir n'est pas statique et au fur et à mesure de l'exploitation, le point de tir changera de direction. Eu égard à cette analyse, l'outil SIG éclaire la prise des décisions en amont des activités et permet de prendre des mesures concrètes pour protéger les environs de la carrière (Planche 1).

Planche 1 : Fissures de bâtiments dues aux vibrations ressenties

Prise de vue : SEBA B, novembre 2022

La planche 1 montre les fissurations des habitats des ménages situés dans la zone d'impact directe de la carrière. Ces fissurations sont dues en grande partie aux vibrations ressenties par les ménages au moment des tirs de dynamitage de la roche (d'après l'enquête de terrain).

A partir des données d'enquête, 98,3% des ménages affirment être affectés par les activités de la carrière et 1,7% disent ne pas être touchés.

Parmi les préjudices subis par les ménages enquêtés, il y a la pollution sonore, olfactive et la pollution de l'air par la poussière issue des granulats de roches et de la manutention des camions chargeurs de gravier (Figure 6).

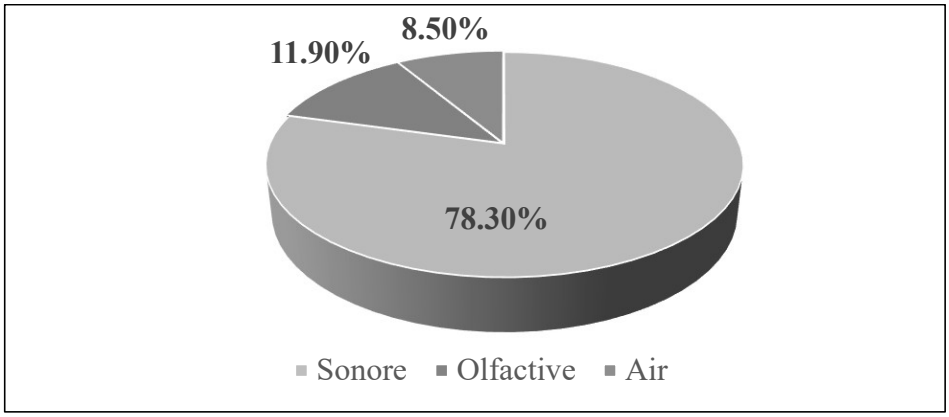

Figure 6: Répartition des ménages par type de pollution
Source : D'après les travaux de terrain, novembre, 2022

Au regard de la figure 6, 78,30% des enquêtés affirment être dérangés par le bruit (nuisances sonores), près de 12% sont atteints de nuisances olfactives et 8,50 % par la pollution de l'air. A ces désagréments s'ajoutent les jets de projectiles et les vibrations ressentis au sol qui sont en partie responsables de la fissuration des maisons (Figure 7).

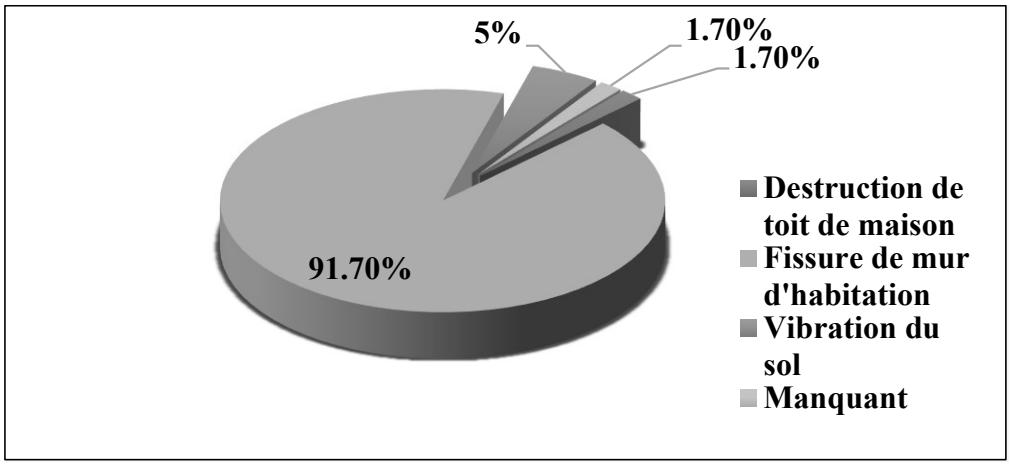

Figure 7: Destructions affectants les ménages
Source : D'après les travaux de terrain, novembre, 2022.

L'analyse de la figure 7 montre que 91,70% des préjudices dus aux activités de la carrière, ont pour conséquence la fissuration des murs des habitations.

Le reste, la destruction des toits de maisons et les vibrations sont respectivement de 1,7% et 5 % (Planche 1). Seulement 1,70 % des ménages enquêtés n'ont pas donnés leur opinion sur les impacts relatifs à la destruction de toits de maison, la fissure de mur d'habitation et les vibrations du sol et ceux-ci correspondent aux données manquantes dans la figure 7.

.

3.4 Analyse de l'état de la végétation par le NDVI

La figure 8 illustre l'état de végétation dans le périmètre de la carrière à travers les cartes de l'indice de végétation par différence normalisée de 2015 et 2022 qui correspondent respectivement à l'année avant l'exploitation et à l'année de l'étude

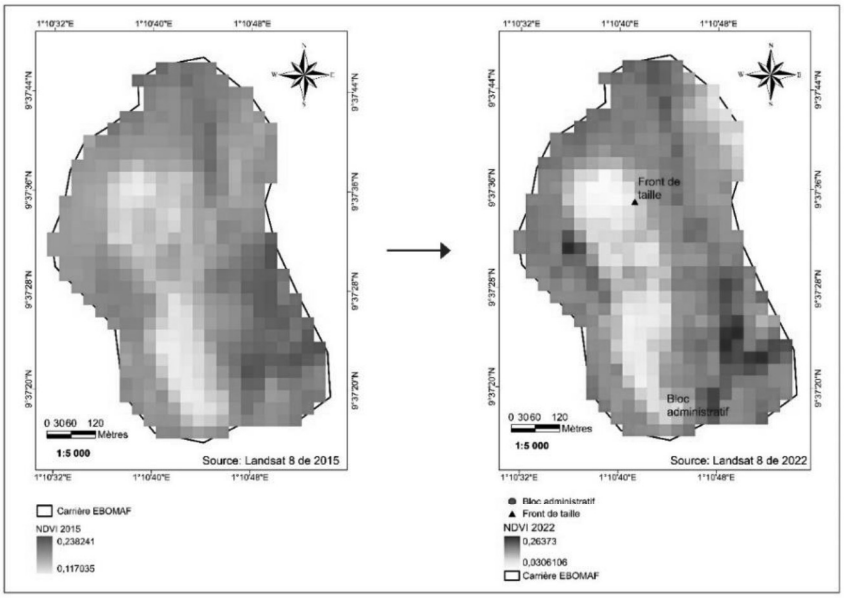

Figure 8: Carte de l'indice de végétation par différence normalisée entre 2015 et 2022
Source : Images Landsat 8 de 2015 et 2022

L'analyse de la figure 8 montre deux (2) cartes avec un NDVI variant de 0,11 à 0,23 en 2015 et un NDVI évoluant entre 0,03 et 0,26 en 2022. Il ressort de l'analyse de ces indices qu'il a une accentuation de la présence de surfaces dépourvues de végétation variant de 0,03 en 2015 à 0,11 en 2022. On note également une légère augmentation des surfaces végétalisées allant de 0,23 à 0,26 respectivement en 2015 et 2022. L'impact de la carrière sur la végétation est légèrement visible à travers ces NDVI et influe directement sur l'aspect esthétique du paysage de la zone d'étude.

4. Discussion

La ville de Kara connait une extension fulgurante depuis sa création jusqu'à ce jour. Son développement s'est accompagné par la naissance des carrières dont celle de concassage de gneiss à sa périphérie par EBOMAF. L'exploitation de cette carrière est source de pollutions (olfactives et sonores) et de dégradation du paysage mais aussi constitue un risque sur le cadre de vie des populations. La présente étude illustre les différents impacts environnementaux et sociaux de l'exploitation de la carrière de gneiss d'EBOMAF à travers des cartes d'analyse spatiale de l'indice de végétation par différence normalisée et par les statistiques descriptives. Pour ce faire, la production d'informations précises et structurées sur les impacts et les risques permettent de prendre des mesures de préventions et d'atténuations.

La loi-cadre sur l'environnement au Togo citée plus haut, considère les EE comme des outils de gestion de l'environnement mais ne définit guère dans son contenu l'utilisation de méthodes précises pour des catégories de projet. En conséquence, certains paramètres du milieu récepteur du projet échappent très souvent à l'analyse. C'est dans ce sens que Noble et Storey (2001) décrivent dans leur étude les lacunes méthodologiques dont souffrent les procédures actuelles d'évaluations environnementales malgré l'existence des SIG et de leur faible utilisation. Il faut souligner que la dimension spatiale (espace) par l'utilisation des données géographiques est négligée. Tout est fait à vue et se résume juste à l'écrit, et à la production de rapport soumis pour validation. Ainsi cette étude montre la manière dont l'utilisation des SIG permettent d'apporter une touche particulière aux EE en valorisant l'information géospatiale des différentes composantes de l'environnement. Selon Joliveau et Etlicher (1998), la géomatique (SIG) intervient dans la prise en compte de la dimension environnementale et des problèmes de gestion de l'espace. De ce fait, les SIG sont des outils par excellence qui améliorent la pratique des évaluations environnementales. Dans la présente étude, les données de géolocalisation des ménages, les rivières et bassins versant, ont été générées et superposés dans le logiciel SIG permettant la réalisation d'une carte d'analyse spatiale. Face à cette importance que revêt les SIG dans les EE, Essono et *al.* (2022), ont utilisé les SIG pour analyser la dynamique de l'exploitation des carrières d'Akanda au nord de Libreville (Gabon). Ils ont utilisé les outils d'analyse spatiale dans le logiciel SIG afin de mesurer la proximité des constructions par rapport aux sites. L'outil buffer leur a permis d'exprimer ses distances automatiquement et une carte d'analyse spatiale a été élaborer à cet effet. Ce résultat de leur étude est bien similaire avec celui de notre étude car les mêmes outils ont été utilisé. Par contre, les études de Yao et *al*. (2023) sur l'exploitation par dynamitage d'un granite dans le département de Danané en Côte d'Ivoire, n'ont pas fait usage des outils SIG pour montrer l'exposition des populations aux impacts sociaux et environnementaux tels que les nuisances, la pollution et l'impact des projectiles sur les ménages et le paysage. Cette étude, comparativement à la nôtre, n'a pas abordé l'aspect analyse spatiale par une approche SIG pour l'identification des ménages qui pourraient être touchés par le dynamitage. Or l'analyse

spatiale est aujourd'hui adoptée dans beaucoup de domaine pour mieux cerner son espace, son territoire ou encore suivre un phénomène. Certes que la carrière de concassage de gravier (gneiss) d'EBOMAF, utilise des méthodes habituelles d'alerte par personnes interposées mais n'arrive pas à cerner véritablement la portée spatiale des impacts de leurs activités par des cartes d'aide à la prise de décision. Conséquence, les personnes touchées par les dynamitages en vue de l'exploitation de la roche sont énormes. C'est pour cela que la présente étude mets en avant les SIG pour rendre plus efficace les EE.

Quoique notre étude a abordé l'aspect analyse spatiale, elle comporte néanmoins des limites qui peuvent faire objet de recherche approfondi par une autre étude à l'avenir sur cette carrière. D'abord, l'étude n'a pas identifier les métaux lourds et composants chimique dangereux pour la pollution de l'eau, du sol et de l'air. Ensuite, l'étude montre ses limites sans aborder les différents scenarii d'impact du tir de dynamite pour la cassure de la roche. Enfin, dans une perspective de développement durable, une étude diachronique peut permettre d'apprécier la dynamique de l'occupation du sol afin d'envisager un plan de réinstallation ou des mesures plus appropriées d'atténuation des impacts présents et futurs. Au moins, l'utilisation des SIG dans le cadre de cette étude, permet d'optimiser la pratique des EE dans leur ensemble par la mise à disposition des informations géospatiales relatives aux ménages, les cours d'eau, les bassins versant, les routes, les ERP et le paysage.

La mise en exergue la végétation par le NDVI, constitue un atout dans les EE pour apprécier l'état du paysage. C'est dans ce sens que, Maloukou et *al*. (2022) ont utilisé la télédétection pour étudier la dynamique de l'occupation du sol dans les carrières d'exploitation des modèles rocheux dans le canton d'Agbelouvé et ses environs au Togo. Cette étude a évalué l'impact de l'exploitation de ces modelés rocheux sur le couvert végétal, afin de contribuer à la gestion durable des ressources végétales. Parallelement à leur étude, le NDVI a été utilisé dans le cadre de notre étude pour apprécier la dynamique de la végétation sur le site de la carrière. Par contre, Roumba et *al* (2023), ont montré dans leur étude, les conséquences de l'exploitation artisanale des carrières de latérite sur l'environnement physique et humain dans la commune de Dédougou au Nord du Burkina –Faso sans faire usage du SIG pour mettre en évidence la végétation comme cela est le cas pour notre étude. Sur cet aspect, Jacquot (2010) évoque la crainte d'une destruction du paysage à chaque fois qu'on parle de carrière avec pour corollaire les angoisses liées aux nuisances qui accompagnent l'activité : le bruit, la poussière, le trafic, et le paysage éventré, blessé. Malheureusement, les SIG ne sont le plus souvent pas utilisés dans les projets d'exploitation de carrière alors qu'elle constitue un outil d'aide à la décision pour anticiper les risques d'exposition aux impacts et la préservation de l'environnement. A ce propos, Joliveau et Etlicher (1998) proposent trois (03) démarches itinéraires pour une aide à la prise de décision, qui va de la constitution d'une base de données à la gestion des scenarios pour une aide à la prise de décisions en passant par l'analyse et le diagnostic pour évaluer la sensibilité du milieu à l'érosion et sa dégradation en relation avec les différents usages du sol. Ainsi les SIG sont des outils utiles qui fournissent de l'information pour nourrir le processus (Noble, 2002). En somme ; Kourouma et Diallo (s.d), et Kourouma (2005) ont montré dans leur étude, les SIG et les évaluations environnementales en Guinée, l'importance que revêt les SIG dans les EE en Guinée et par extension en Afrique.

Conclusion

L'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG) se révèle être d'une importance capitale dans l'intégration des

différents paramètres environnementaux et leur spatialisation pour cerner au mieux leur évolution. A cet effet, les SIG sont des outils innovants très sophistiqués qui sont à même de contribuer véritablement à l'efficacité des évaluations environnementales (EE). Il a été démontré dans cette étude, les avantages qu'ils offrent dans la mise en place et la gestion des bases de données géo-relationnelles, la modélisation des phénomènes, le traitement et la représentation de l'information géographique pour une prise de décision multiniveau.

La présente étude a permis de montrer l'avantage qu'offre l'analyse spatiale via l'usage des SIG et de la cartographie dans la détermination des impacts sociaux et environnementaux pour le cas de la carrière d'exploitation de gravier. Les résultats de l'analyse de données ont permis d'identifier les ménages touchés par les tirs de dynamitage et les dommages qui s'en suivent. Il faut noter que cette carrière, avant son exploitation, a été soumise à un audit environnemental et social (AES) dont les résultats et les recommandations du rapport ont été faiblement mis en œuvre. Cette étude apporte donc un complément à cet AES en intégrant l'approche SIG via l'analyse spatiale et la cartographie.

Références bibliographiques

Badjana H. M., O. Pontus, Woodcock C.E., Joerg Helmschrot J., Walaa K., Akpaganaa K. (2017): Mapping and estimating land change between 2001 and 2013 in a heterogeneous landscape in West Africa: Loss of forestlands and capacity building opportunities, http://www.elsevier.com/locate/jag, 17-17

Brundtland, G.H. (1987). Notre avenir à tous, Rapport, 349 p.

Direction Général de la Statistique et de la Comptabilité Nationale, (2010). Recensement Général de la Population et de l'Habitat, résultats définitifs, 66 p.

Dossou Guedegbe, O.V. (2012). Module de formation en évaluation environnementale : support pédagogique, Cotonou, Département de géographie et aménagement du territoire, Université d'Abomey-Calavi, 13 p.

Essono Milla D., Tsayem demaze M. et Ndong mba J-C.(2022) : Exploitation des carrières et dynamiques spatiales : cas d'Akanda au nord de Libreville (Gabon), https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=6797.

Faure P. (1985). Les sols de la Kara nord-est-Togo relations avec l'environnement carte pédologique à 1/50000, éditions de l'ORSTOM, Institut Français de recherche scientifique pour le développement en coopération, https://doi.org/10.1142/S1464333201000832

Jacquot, A. C. (2010). Quelle gouvernance des projets d'ouverture et d'extension de carrières? *Projets de paysage. Revue scientifique sur la conception et l'aménagement de l'espace*, (4). DOI : https://doi.org/10.4000/paysage.24150

Joliveau, T. et Etlicher, B., (1998). Le SIG pour une gestion environnementale des territoires, éléments et méthodes à partir de deux expériences, 333 p.

Kourouma D.L et Diallo D., (s.d). Système d'Information Géographique (SIG) et évaluation environnementale en Guinée : Quand est-il des projets routiers ? 7 p.

Kourouma D.L. (2005). Approche méthodologique d'évaluation environnementale stratégique du secteur de l'énergie: application à la dimension régionale de la politique énergétique guinéenne en guinée maritime, thèse de doctorat en es science de l'environnement, 412 p.

Leduc G. A. et Raymond, M., (2000). L'évaluation des impacts environnementaux, un outil d'aide à la prise de décision. Editions MultiMondes, 424 p.

Loi n° 2008-005 du 30 mai 2008, portant loi-cadre sur l'environnement au Togo, 37 p.

Maloukou, A., et Djangbedja, M. (2022). Dynamique de l'occupation du sol dans les carrières d'exploitation des modèles rocheux dans le canton d'Agbelouvé et ses environs. Afrique SCIENCE, 21(2), 116-126.

Noble B. F. and Storey, K. (2001). Towards a structured approach to strategic environmental assessment. Journal of Environmental Assessment Policy and Management, 03(04), 483-508.

Noble B.F. (2002). The Canadian experience with SEA and sustainability, Environmental Impact Assessment Review, 22(1), 3-16.

Rea, L. M. (1997). Calcul de la taille d'un échantillon pour une enquête. Fiches Techniques et Méthodologiques, 713-716.

Rouamba S., Yanogo P. I., Mana V. A., Yameogo J. (2023) : Les conséquences de l'exploitation artisanale des carrières de latérite sur l'environnement physique et humain dans la commune de Dedougou, https://popups.uliege.be/0770-7576/index.php?id=6797.

Yao, K. A. F., Atto, Y. D. S. R., Coulibaly, C. L. K. E., Doua, K. N., et Ahoussi, K. E. (2023): Problématique socio-environnementale de l'abattage à la dynamite d'un massif granitique: cas de la carrière de lapleu, ouest côte d'ivoire. Rev. Ivoir. Sci. Technol., 42 (2023) 396 - 414 , ISSN 1813-3290, http://www.revist.ci

Yelkouni, M., et Ngo-Samnick, E. L. (2019). Évaluations environnementales des politiques et projets de développement. Institut de la Francophonie pour le développement durable. (162-171).