

DEDICACE

Je dédie ce présent rapport à tous ceux et toutes celles qui m'ont apporté réconfort et aide au long de mon cursus scolaire et au long de ma vie ;

ALLAH, qui est l'essence même et le socle de toute mon existence ;

Mon Père et ma Mère, merci à tous deux d'avoir été pour moi au cours de ces longues et pénibles années un rocher inaltérable et inamovible auquel je pouvais m'accrocher, recevez ce mémoire en signe de ma reconnaissance éternelle.

La grande famille KABA à laquelle je serai toujours redevable ;

Ma communauté de l'INPHB pour ses conseils et son soutien et à cause de ce qu'ils m'ont donné une seconde famille.

Toutes les personnes qui de près ou de loin ont concouru à ma réussite.

A tous mes camarades de la 20^{ème} Promotion des Elèves Ingénieurs de l'ESMG.

REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail de fin d'études, il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre gratitude et nos remerciements à tous ceux qui, par leurs enseignements, leurs soutiens et leurs conseils ont contribué activement à sa réalisation. Nous reconnaissons que la rédaction de cette partie du mémoire n'est pas aisée, car vouloir citer des noms, c'est accepter d'en oublier. Nous voudrions donc nous excuser d'avance auprès de ceux ou celles que nous aurions omis. A cet effet, nos remerciements vont d'abord à l'endroit de

- + **M. KONAN Maurice**, Ingénieur Sénior du service technique de la production à ENDEAVOUR qui nous a accordé ce stage.
- + **M. N'GORAN Venance**, notre maître de stage Ingénieur Sénior Forage et Dynamitage à ENDEAVOUR pour l'encadrement et l'assistance technique.

Nous voulons également remercier la compagnie ENDEAVOUR MINING, pour l'opportunité qu'elle nous a offerte de mettre en pratique nos acquis théoriques et particulièrement à l'équipe d'encadrement :

- + **M. Severin BOINH**, Ingénieur Production pour son encadrement ;
- + **KOUAME Elie, YAO Arsène, DOFFOU Kader, BONY Georges et TRAORE Moussa**, Ingénieurs à ENDEAVOUR MINING, pour leur aide et leur soutien tout au long de notre stage.

Nous remercions tout le personnel administratif et du corps enseignants de l'Ecole Supérieur des Mines et Géologie (ESMG), qui ne cessent de ménager des efforts pour la formation et la réussite de leurs élèves. Particulièrement au :

- + **Professeur YAO KOUAKOU Alphonse**, Directeur de l'ESMG ;
- + **Docteur KESSE Touvalé Marcel** Directeur des études du cycle Ingénieur de Conception ;
- + **Mme TRAORE Bintou** épouse BAMA, notre Inspectrice de filière adoré, ainsi qu'à toute l'équipe de cette prestigieuse école.

Nous remercions du fond du cœur notre encadreur pédagogique

- + **M. TIEMOKO TONGA PAUL**, pour le suivi, les conseils et la disponibilité lors de notre encadrement.

Que tous ceux qui n'ont pas été cités trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

AVANT-PROPOS

Créé par le décret n°96-678 du 04 septembre 1996, l'Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny (INP- HB) est un établissement public d'enseignement supérieur Ivoirien qui forme des techniciens, des ingénieurs et des docteurs dans les secteurs agricole, industriel et tertiaire.

L'INP-HB se ramifie en sept (08) grandes écoles que sont :

- ✚ Ecole Supérieure d'Agronomie : ESA ;
- ✚ Classes Préparatoires aux Grandes Ecoles : CPGE ;
- ✚ Ecole Supérieure d'Industrie : ESI ;
- ✚ Ecole Supérieure des Travaux Publics : ESTP ;
- ✚ Ecole de Formation Continue et de Perfectionnement des Cadres : EFCPC ;
- ✚ Ecole Supérieure de Commerce et d'Administration des Entreprises : ESCAE ;
- ✚ Ecole Doctorale Polytechnique : EDP ;
- ✚ Ecole Supérieure des Mines et de Géologie : ESMG.

L'ESMG a pour vocation la formation de Techniciens Supérieurs et d'Ingénieurs de Conception dans les domaines des mines, de la géologie, des hydrocarbures et de l'eau. Cette formation se fait à travers des cours théoriques, des sorties de terrain et des stages en entreprise.

En plus de tout cela, l'école donne l'occasion à ses étudiants de se familiariser au monde professionnel. Cette pédagogie dont la visée est d'inculquer la doctrine d'esprit critique, de synthèse et d'innovation peut être réalisée sur terrain ou dans les bureaux d'études. C'est dans ce cadre que nous avons été admis du 02 juillet au 02 novembre 2019 au sein de la Société des Mines d'Ity pour la réalisation de notre travail de fin d'études. Le présent rapport constitue la synthèse de nos travaux sur un thème d'intérêt professionnel qui a porté sur la : <<**conception d'un logiciel de simulation de projections de pierres pendant les tirs à l'explosif à la mine d'Ity** >>



TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
REMERCIEMENTS.....	ii
AVANT-PROPOS.....	iii
TABLE DES MATIERES	iv
LISTES DES FIGURES	vii
LISTES DES TABLEAUX.....	ix
LISTES DES EQUATIONS	x
LISTES DES ABREVIATIONS	xi
RESUME	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCTION	1
CHAPITRE I : GENERALITES	2
1.1. Généralités sur la structure d'accueil (Société des mines d'Ity)	3
1.1.1. Historique et évolution de la SMI.....	3
1.1.2. Organisation de la SMI.....	4
1.1.2.1 Département Administrative et financière	4
1.1.2.2 Département des Ressources Humaines	4
1.1.2.3 Département Sureté	4
1.1.2.4 Département Achat, Logistique et Approvisionnement.....	4
1.1.2.5 Département Informatique et Technologie	4
1.1.2.6 Département des Mines et Services	4
1.1.2.7. Département Maintenance	5
1.1.2.8. Département Traitement	5
1.2. Présentation de la zone d'étude.....	7
1.2.1. Localisation de la zone d'étude	7
1.2.2. Données végétales, climatiques et pédologiques.....	8
1.2.3. Géomorphologie et hydrologie de la zone d'étude	9
1.2.4. Populations de la zone d'études.....	9
1.2.5.1. Aperçu géologique de la cote d'Ivoire.....	9
1.3. Géologie de la région de l'Ouest.....	13

1.3.1.	Géologie des gisements d'Ity	14
1.4.	GENERALITES SUR LE THEME	16
1.4.1.	Méthode d'exploitation à la mine d'or d'Ity	16
1.4.2.	Opérations de forage et de dynamitage	16
1.4.2.1	Paramètres liés aux opérations de forage	16
1.4.2.2	Dynamitage	20
1.4.2.3	Chargement des trous de mines	20
1.4.2.4	Phase d'amorçage	20
1.4.2.5	Phase de pompage du produit	20
1.4.2.6	Phase de vérification de la hauteur du bourrage	20
1.4.2.7	Phase du bourrage	21
1.4.3.	Notion de simulation	22
1.4.4.	Langage de programmation	22
1.5.	Importance des prédictions et contrôle des jets de pierres	23
CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES		25
2.1	MATERIEL	26
2.1.1	Equipements de protection individuelle (EPI)	26
2.1.2	Matériel technique	26
2.1.2.1.	Fichiers string et DTM	26
2.1.2.2	Fiche des paramètres de tirs à la mine d'Ity	27
2.1.3	Matériel informatique	27
2.2	METHODES	29
2.2.1	Recherche documentaire	29
2.2.2	Choix d'un outil d'aide à la simulation	29
2.2.3	DEVELOPPEMENT D'UN MODELE D'OPTIMISATION	30
2.2.3.1	Identification des paramètres d'entrée	30
2.2.4	Modélisation de la projection de pierre	32
2.2.4.1	Différences entre les modèles réalistes et cinématiques pour l'estimation de la projection	32
2.2.4.2	Mouvement réaliste de projection de pierres	34
2.2.4.3	Profondeur d'enfouissement	34
2.2.4.4	Equations de mouvement de particules avec résistance à l'air de Chernigovskii	37
2.2.4.5	Influence des paramètres d'entrée sur la projection de pierre	38
2.2.5.	Conception d'un logiciel d'optimisation	38
2.2.5.1.	Phase d'analyse	39



2.2.5.2. Préparation du logiciel	39
2.2.5.3. Phase opérationnelle	39
2.2.6 Estimation des distances de projections.....	42
CHAPITRE III : RESULTATS, INTERPRETATIONS	47
ET RECOMMANDATIONS	47
3.1. Présentation des résultats des phases d'analyse et de conception	48
3.1.1 Etude du système existant.....	48
3.1.2 Critiques de l'existant	49
3.2 Résultat de l'influence des paramètre d'entrée	49
3.2.1 Influence de la hauteur de bourrage	49
3.2.2 Influence du diamètre du trou	49
3.2.3 Influence de la densité de l'explosif.....	50
3.3 Conception du logiciel	52
3.3.1 Préparation du logiciel.....	52
3.4 Algorithme de simulation	54
3.5 Courbes (trajectoires) de projections : cas pratique	55
3.6 Interprétations des résultats	69
3.6.1 Hauteur de bourrage	69
3.6.2 Projections	69
CONCLUSION	72
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	73
ANNEXES	I

LISTES DES FIGURES

Figure 1: Organigramme simplifié de la Société des Mines d'Ity	6
Figure 2: Carte de localisation de la ville de Zouan-hounien	7
Figure 3: Permis d'exploration et d'exploitation de la SMI	8
Figure 4: Noyaux cratoniques de l'Afrique.....	10
Figure 5 : Schéma simplifié des ensembles géologiques en Côte d'Ivoire	12
Figure 6: Carte de la géologie simplifiée du klippe Toulepleu-lty	13
Figure 7: Carte géologique des gisements d'Ity.....	15
Figure 8: Différents trous de mines	17
Figure 9: Eléments caractéristiques du plan de forage	19
Figure 10: Différents types de mailles d'un forage	19
Figure 11: Exemple de plan de chargement.....	21
Figure 12 : Différents mécanismes de projections de roches	24
Figure 13: exemple d'un jet de pierre et quelques impacts	24
Figure 14: logo de PyCharm.....	28
Figure 15: logo de Surpac.....	28
Figure 16: Comparaison entre le modèle cinématique et le modèle réaliste	33
Figure 17: Diagramme du confinement de l'énergie	35
Figure 18: Niveau de confinement d'énergie	36
Figure 19 : Trajectoire de la particule d'énergie.....	37
Figure 20: Icône du logiciel PyCharm.....	39
Figure 21: Première Interface lors de l'ouverture de PyCharm.....	40
Figure 22: Boîte de dialogue de création d'un nouveau projet dans PyCharm.....	40
Figure 23: Interface de création d'un fichier dans PyCharm	41
Figure 24: exemple de code python	41
Figure 25: exécution de fichier sous PyCharm	41
Figure 26: Affichage de la fosse d'exploitation.....	42
Figure 27: Fenêtre de dialogue pour la définition des paramètres de section.....	43
Figure 28: Section dans une direction de la fosse	44
Figure 29: Fiche actuelle pour simulation des projections des pierres.....	48
Figure 30: Influence de la hauteur de bourrage	49

Figure 31: Influence du diamètre du trou	50
Figure 32: Influence de la densité de l'explosif.....	50
Figure 33 : influence du facteur forme	51
Figure 34: influence de la densité de la roche.....	51
Figure 35: Interface de Sim_master.....	54
Figure 36: Emplacement des différentes fosses par rapport à la voie communautaire	56
Figure 37: Direction de la section A	57
Figure 38: Section A roche transitionnelle projections au niveau relative 240 m	58
Figure 39: Section A roche saine, projections au niveau relative 240 m	59
Figure 40: Direction de la section B.....	60
Figure 41: Section B roche transitionnelle, projections au niveau relative 220 m	61
Figure 42 : Section B roche saine, projections au niveau relative 220 m	62
Figure 43: Direction de la section C.....	64
Figure 44: Section C roche transitionnelle, projections au niveau relative 230 m	65
Figure 45: Section C roche saine, projections au niveau relative 230 m	66



LISTES DES TABLEAUX

Tableau I: Equipements de protection individuelle	26
Tableau II: calcul des parametres de tir	53
Tableau III: Récapitulatif des distances de projection de la section A	69
Tableau IV: Récapitulatif des distances de projection de la section B	70
Tableau V: Récapitulatif des distances de projection de la section C	70



LISTES DES EQUATIONS

Équation 1.....	34
Équation 2.....	34
Équation 3.....	35
Équation 4.....	36
Équation 5.....	37
Équation 6.....	37
Équation 7.....	37
Équation 8.....	37
Équation 9.....	37



LISTES DES ABREVIATIONS

ANFO : Ammonium Nitrate Fioul Oil

CIL : Carbon In Leach (lixiviation en cuve)

cm : centimètre

cm³ : centimètre cube

DTM : Digital Terrain Model (Modèle digitalisé du terrain)

EPI : Equipements de Protection Individuelle

g: gramme

Ga : Milliards d'années

mm: millimètre

m : mètre

NONEL : **NON** Electriques(detonateurs)

PE : **P**ermis d'Exploitation

PR : **P**ermis de **R**echerche

s : seconde

QA-QC : **Q**uality **A**ssurance and **Q**uality **C**ontrol (Contrôle Assurance- Contrôle Qualité)

RAB : Rotary Air Blast

SD : Scaled Depth of Burial

SMI : Société des Mines d'Ity

SODEMI : Société pour le Développement Minier de la Cote d'Ivoire

UTM : Universal Transverse Mercator

RESUME

La fréquence et l'échelle des événements liés aux pratiques d'abattage augmentent de plus en plus dans les activités minières pour stimuler la production d'or. Les mines se rapprochent des zones habitées en raison de la croissance de la population et aussi de la disponibilité limitée des ressources en terres, ce qui incite les entreprises minières à opter pour des tirs à l'explosif à la fois performantes et sécuritaires. Pour parvenir à cela, un rayon de 500 mètres est appliqué pendant les tirs à l'explosif à la mine d'Ity. Cependant, il ressort que l'application de ce rayon entraîne le blocage de la voie communautaire causant des mécontentements des riverains et le ralentissement des activités de production. Dès lors, trouver une distance d'exclusion optimale des tirs sans toutefois interrompre le trafic des communautés riveraines reste une solution viable et une préoccupation majeure pour la mine d'Ity. C'est dans cette optique qu'il nous a été soumis le thème : « **conception d'un logiciel de simulation de projections de pierres pendant les tirs à l'explosif à la mine d'Ity** ».

L'objectif général de cette étude est de mettre en place un outil d'aide à la décision dans la conception des tirs avec un niveau optimal de sécurité. Pour y parvenir, une identification des paramètres influençant un tir a été faite, ensuite le choix du modèle de simulation de projection de pierres pendant les tirs à l'explosif a été fait et enfin un développement de l'algorithme de la simulation a été effectué. Certaines formules empiriques ont été utilisées afin de modéliser les projections de pierres telles que les équations de mouvement proposées par Chernigovskii (1985) pour calculer les trajectoires de vol sous l'influence de la résistance de l'air, les équations d'estimation de la vitesse de lancement de la particule de Lundborg (1974). A l'aide de l'outil conçu dénommé : « **Sim_Master** » des simulations ont été effectuées pour les trois fosses en cours d'utilisation à la mine d'Ity que sont : les fosses de Daapleu, d'Ity Flat et Bakatouo au niveaux relatifs respectifs de 240m, 220m, 230m. De cette étude il est ressorti que le rayon de sécurité est estimé à 300m, applicable pour tous les tirs dont certains nécessitent le blocage de la voie communautaire. Des mesures correctives ont été proposées afin de réduire les projections, notamment, l'adaptation de la quantité des explosifs en tenant compte des données du contrôle qualité, la cohérence entre les charges réelles et celles planifiées et le respect de la nature et de la taille du matériau de bourrage recommandé.

Mots clés : Côte d'Ivoire, mine d'Ity, prédiction, projections de pierres, tirs à l'explosif, fosse.

ABSTRACT

The frequency and scale of events related to slaughter practices are increasing in mining activities to stimulate gold production. Mines are moving closer to inhabited areas as a result of population growth and limited availability of land resources, prompting mining companies to opt for both high-performance and safe explosive fire. To achieve this, a radius of 500 meters is applied during blasting at the Ity mine. However, it appears that the application of this ray causes the blocking of the community way causing discontent of residents and the slowdown of production activities. Therefore, finding an optimal exclusion distance from the firing without interrupting the traffic of neighboring communities remains a viable solution and a major concern for the Ity mine. It is in this light that we have been subjected the theme << ***design of a stone projection simulation software for the shooting to the explosive in the Ity mine*** >>. The general objective of this study is to set up a decision support tool in shooting design with an optimal level of security. To achieve this, we first proceeded to the identification of the parameters influencing a shot, then to the choice of the simulation model of stone projection during the shots to the explosive finally to the development of the algorithm of the simulation. Some empirical formulas have been used to model the stone projection such as the motion equations proposed by Chernigovskii (1985) for calculating flight paths under the influence of air resistance, the estimation equation of the launch velocity of the Lundborg particle (1974). With the help of the designed tool: << **Sim_Master** >> simulations have been carried out for the three pits in use at the Ity mine: The Daapleu pit, Flat and Baakatouo at the respective level of 240m, 220m, 230m. From this study it emerged that the safety radius of 300m is applicable for all shots, some of which require the blocking of the community track. some corrective measures have been proposed to reduce the projections, including compliance level mining and the density of the explosive, the adaptation of the quantity of the explosive, taking into account quality control data, consistency between actual and planned loads and respect for the nature and size of the recommended packing material.

Key words : prediction, stone project , explosive shooting, pit.

INTRODUCTION

Point central du processus de production minière, l'abattage à l'explosif est un procédé technique incontournable pour fragmenter les roches d'un massif en place lorsque leur résistance est trop élevée pour permettre une excavation mécanique. La mine d'Ity n'est pas en marge de cette technique d'extraction. Cependant, le processus de dynamitage reste toutefois une source potentielle de nombreux risques pour les personnes, les équipements et les infrastructures environnantes. Les risques majeurs sont les vibrations, les bruits et les projections de pierres. La dernière citée, continue de faire l'objet de plusieurs études et recherches afin d'établir des modèles précis de prédiction des distances de projection maximales et aider à définir une zone d'exclusion optimale pendant les tirs à l'explosif. Ceci, pour assurer la continuité des opérations minières, mieux garantir la sécurité des populations et conserver l'intégrité des infrastructures, surtout en considérant la variabilité des conditions et paramètres de tirs d'une opération à une. C'est le contexte actuel de la société des mines d'Ity avec les voies communautaires qui traversent le périmètre de la mine. Il apparaît donc important de trouver une distance d'exclusion optimale des tirs sans toutefois interrompre le trafic des communautés riveraines. C'est dans le cadre de la recherche de solution idoine à ce problème, qu'il nous a été soumis, lors de notre stage de fin d'études, le thème « **conception d'un logiciel de simulation de projections de pierres pendant les tirs à l'explosif à la mine d'Ity** ». L'objectif général de cette étude est de mettre en place un outil d'aide à la décision dans la conception des tirs avec un niveau optimal de sécurité pour les professionnels des tirs de mines en général et les Ingénieurs des mines de la Société des Mines d'Ity en particulier. De façon spécifique, il s'agit :

- d'identifier les paramètres liés aux projections de pierres lors des tirs à l'explosif;
- choisir le modèle de simulation adapté à ces paramètres ;
- développer l'algorithme de simulation.

Pour mieux appréhender ce thème, le présent rapport a été structuré en trois (3) grands chapitres. Le premier chapitre traitera des généralités sur la structure d'accueil, la zone d'étude et le thème, le deuxième chapitre présentera le matériel utilisé et la méthodologie adoptée et le troisième chapitre exposera les résultats obtenus, leurs analyses ainsi que leurs interprétations et quelques recommandations.



CHAPITRE I : GENERALITES

1.1. Généralités sur la structure d'accueil (Société des mines d'Ity)

1.1.1. Historique et évolution de la SMI

Située à 700 Kilomètres d'Abidjan, la SMI (Société des Mines d'Ity) est une société anonyme créée en Juin 1983, au capital de six cent millions de francs CFA et couvre une superficie de 25 kilomètres carrés.

Le gisement d'or d'Ity a été découvert par le Bureau Minier de la France d'Outre-mer (BUMIFOM) dans les années 1950 lors d'une campagne de prospection initialement consacrée au cuivre.

Après plusieurs études technico-économiques, la Société des Mines d'Ity fut créée en Juin 1983 entre l'État Ivoirien, représenté par la SODEMI et Coframines, filiale du Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM).

En 1990, après la construction de la mine, l'extraction débuta à la fin de la même année et le premier lingot (d'environ 23 carats, 95% de pureté) a été coulé le 28 Janvier 1991.

Une exploration importante a été faite dans les années 1990 et la plupart des dépôts ont été découverts ou étendus à l'époque. Depuis lors, la propriété a changé plusieurs fois jusqu'à ce que le groupe "La Mancha" ait acquis une participation importante dans la SMI en 2012. En 2014, un changement d'actionnaire a été autorisé par le Gouvernement de la Côte d'Ivoire qui conduit à la structure actuelle. Dans l'optique d'améliorer le taux de récupération de l'or, le projet CIL a été mis sur pied en 2017. Celui-ci a prolongé la durée de vie de la mine à quatorze ans. Son capital initial était détenu à 60% par la SODEMI et 40% par Coframines. A ce jour, la Société des Mines d'Ity comprend trois (3) actionnaires à savoir :

- ✚ ENDEAVOUR MINING : 85% ;
- ✚ la SODEMI : 5% ;
- ✚ l'Etat de Côte d'Ivoire : 10%.

Son siège social est situé à Abidjan-Cocody et s'occupe des affaires administratives et financières pendant que la direction du centre d'exploitation basée à Ity gère la production et l'exploration.

1.1.2. Organisation de la SMI

La SMI est une société anonyme dont la direction générale est assurée depuis 2017 par M. Issiyakou MAHAMADOU. Afin de mener à bien ses activités minières, elle s'est dotée d'une structure permettant la mise en évidence des liens fonctionnels, organisationnels et hiérarchiques de l'entreprise de façon générale. La structure organisationnelle est composée de huit (8) départements.

1.1.2.1 Département Administrative et financière

Ce département est en charge de la gestion des questions d'ordre administratif et comptable de même que la gestion du personnel pour le compte de la société.

1.1.2.2 Département des Ressources Humaines

Ce département assure et garantit la politique d'évolution et la politique de formation de la société. Il participe à la gestion et à la formation du personnel de l'entreprise.

1.1.2.3 Département Sureté

Il a pour rôle de prévenir, sécuriser et protéger les biens et les personnes. Il inscrit l'entreprise dans une démarche durable.

1.1.2.4 Département Achat, Logistique et Approvisionnement

Il assure de manière efficace l'approvisionnement et la gestion des stocks qui porte sur des biens et des services.

1.1.2.5 Département Informatique et Technologie

Ce département doit s'assurer d'un choix ainsi que d'une utilisation cohérente et conviviale, des logiciels de gestion et des équipements ou du matériel informatique. Il assure également la maintenance des ordinateurs et des équipements technologiques.

1.1.2.6 Département des Mines et Services

Ce département s'occupe de l'exploitation minière des différents gisements. Il est composé de sept (7) services :

- ✚ le Service Géologie chargé du contrôle géologique des teneurs tout au long du processus de l'exploitation minière ;
- ✚ le Service Topographie qui effectue les levés topographiques puis réalise la cubature des matériaux exploités ainsi que celle des stocks de minerai ;
- ✚ le Service Hydrogéologie chargé de l'exhaure et de l'exécution des plans de drainage du site minier ;
- ✚ le Service Géotechnique veille au respect de la stabilité des talus des fosses exploitées;
- ✚ le Service Planification, quant à lui définit les stratégies minières et élabore les plans miniers à court, moyen et long terme ;
- ✚ le Service Production, met en exécution les plans miniers prédéfinis afin d'atteindre les résultats opérationnels ;
- ✚ le Service Forage et Minage, chargé du dynamitage des formations rocheuses affleurant au cours de l'exploitation minière.

C'est au sein de ce dernier service que s'est déroulé notre stage de production.

1.1.2.7. Département Maintenance

Le Département Maintenance s'occupe de l'entretien des engins, des véhicules légers et des divers appareils et installations. A cet effet il dispose de plusieurs services que sont :

- ✚ le Service Electricité ;
- ✚ le Service Mécanique général ;
- ✚ le Service Mécanique des engins.

Il doit également s'assurer de la disponibilité des engins de sorte à ne pas impacter la production minière.

1.1.2.8. Département Traitement

Il gère toutes les activités permettant de récupérer l'or contenu dans le minerai. Ce service se subdivise en deux (2) sections essentielles que sont :

- ✚ le Service Métallurgie ;
- ✚ le Service Laboratoire.

L'organigramme de la Société des Mines d'Ity est représenté ci-dessous (Cf. Figure 1).

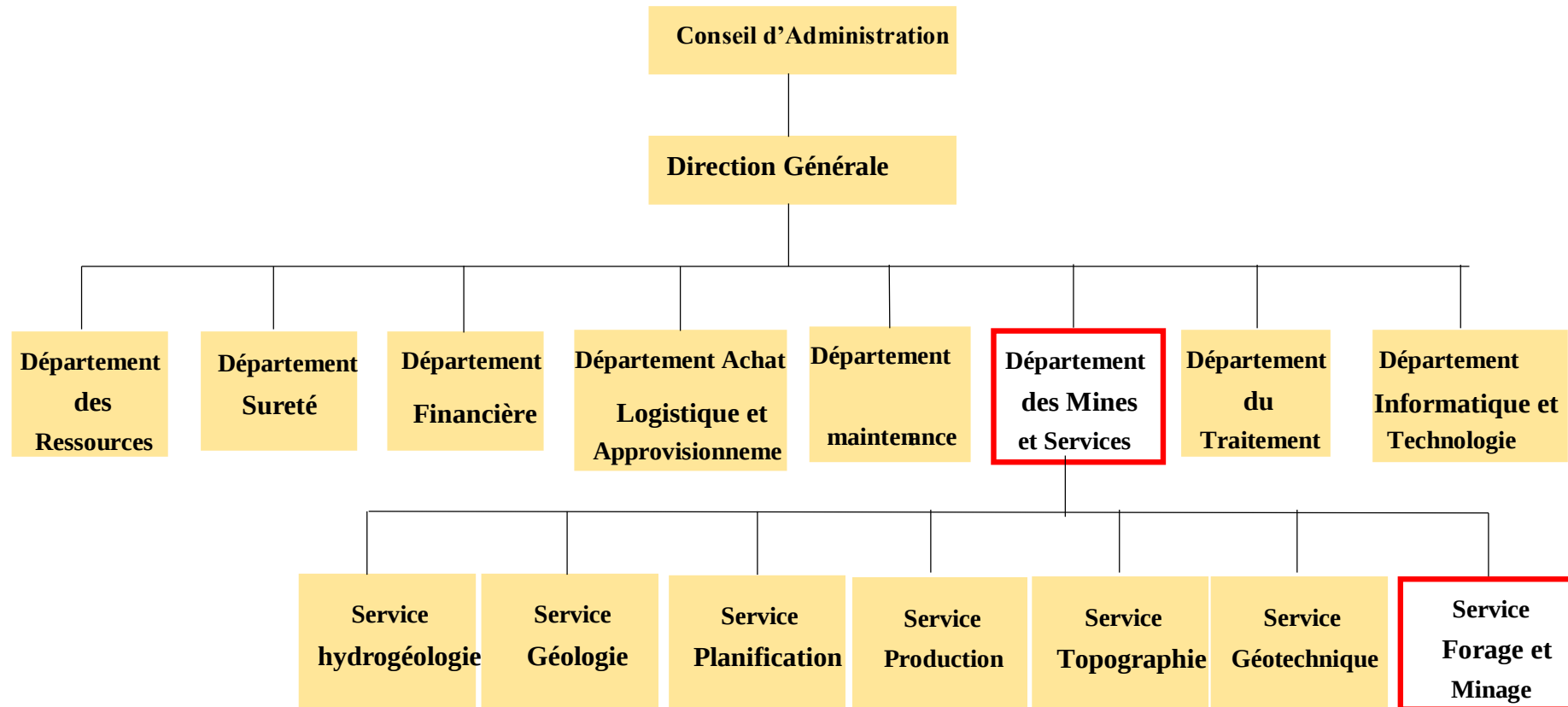


Figure 1: Organigramme simplifié de la Société des Mines d'Ity

1.2. Présentation de la zone d'étude

1.2.1. Localisation de la zone d'étude

La mine d'Ity est localisée à l'Ouest de la république de Côte d'Ivoire précisément dans la préfecture de Zouan-Hounien entre les latitudes $06^{\circ}53'30''$ et $06^{\circ}50'44''$ N et les longitudes $08^{\circ}08'30''$ et $08^{\circ}05'46''$ W.

On y accède par un réseau routier bitumé passant par Man, Danané et Zouan-Hounien ou un réseau non bitumé passant par Guiglo, Toulepleu et Zouan-Hounien. Zouan-Hounien est reliée à Ity par une piste de 15 km entretenue par la SMI (Société des Mines d'Ity) (Cf. figure 2). Le permis d'exploration initial PR61 de la SMI a été délivré pour la première fois en 1995 et prolongé de deux ans jusqu'au 12 Septembre 2014. Il a été remplacé par le PR609 en Juillet 2015 et est valable pour une période de quatre ans. Son permis d'exploitation est de type PE n°26 (Cf. figure 3). Ces permis sont valables pour l'or et toute substance minérale.



Figure 2: Carte de localisation de la ville de Zouan-hounien

Source : Mémoire de fin d'études Bony Georges (2015)

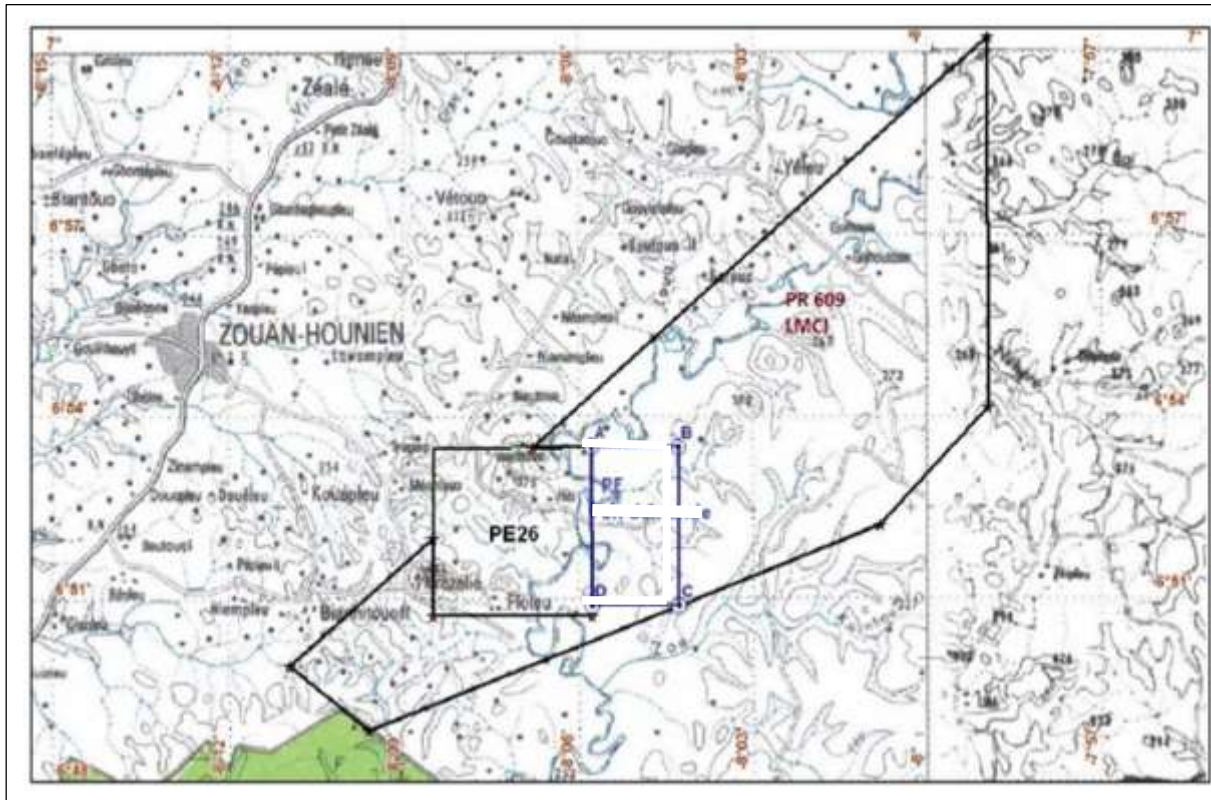


Figure 3: Permis d'exploration et d'exploitation de la SMI (Etude de faisabilité ENDEAVOUR, 2016)

1.2.2. Données végétales, climatiques et pédologiques

La région d'Ity fait partie de la zone montagneuse de Man dont le plus haut sommet est le mont Nimba (1753 m). C'est une zone de forêt qui bénéficie d'un climat de montagne avec une forte pluviométrie (jusqu'à 1800 mm).

Elle a quatre (4) saisons dans l'année :

- 🚩 une longue saison sèche : de Décembre à Février ;
- 🚩 une longue saison pluvieuse : de Mars à Juillet ;
- 🚩 une courte saison sèche : d'Août à Septembre ;
- 🚩 une courte saison pluvieuse : d'Octobre à Novembre.

Les températures les plus basses du pays sont enregistrées dans cette région (25°C en moyenne). Elle est caractérisée par un environnement de sol ferralitique propre aux zones de forêts denses. Le profil d'altération type dans la zone d'Ity se compose de quatre horizons majeurs. Les changements morphologiques et la nature des roches mères créent en revanche de fortes variations au niveau de l'épaisseur de ces horizons. Du haut vers le bas, on observe successivement : un horizon gravillonnaire à bloc de cuirasse, un horizon à élément de cuirasse démantelée et à nodules polygéniques, un horizon argileux à plaquettes et une saprolite jaune pâle (Rapport ANTEA, 2007).

1.2.3. Géomorphologie et hydrologie de la zone d'étude

L'aspect géomorphologique de la zone d'Ity se rapproche beaucoup des caractères d'une pénéplaine dominée par de petites collines : ce qui est propre aux zones de forêts tropicales humides. Elle est drainée par un important réseau fluvial constitué principalement des fleuves Cavally et Nuon. Ces fleuves coulent respectivement dans les directions NE-SW et N-S, ces cours d'eaux possèdent de grands flats (ou bas-fonds) plus ou moins marécageux en saison pluvieuse. (Rapport ANTEA, 2007).

1.2.4. Populations de la zone d'études

Avant l'implantation de la mine, le village d'Ity ne comptait que quelques cases et était occupé par des allogènes qui pratiquaient l'orpaillage. Aujourd'hui, il regroupe plusieurs milliers de personnes constituées en majeure partie par les populations originaires des villages riverains. L'ethnie majoritaire est le Yacouba. Les Yacouba vivent principalement de l'agriculture. Les cultures sont soit vivrières (maïs, manioc et riz), soit industrielles (café, cacao et noix de cola). Autour de ces activités, s'organise la vie commerciale dans les marchés des villages.

1.2.5.1. Aperçu géologique de la cote d'Ivoire

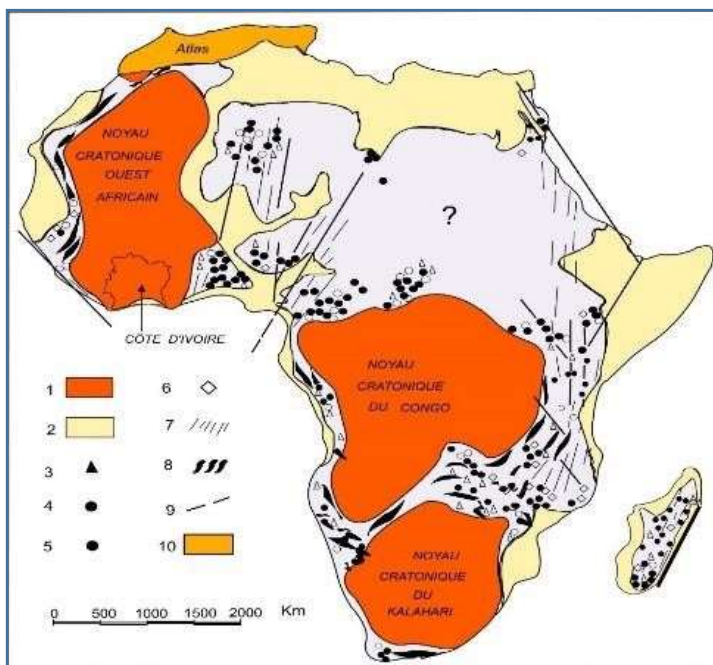
Géologiquement, la Côte d'Ivoire appartient au craton ouest africain précisément à la dorsale de Man. Ce craton est une vieille plate-forme granitisée et stabilisée (Bessoles, 1977) depuis la fin de l'orogénèse Eburnéenne. Il est limité au Nord par l'Anti-Atlas, au Sud par l'océan Atlantique, à l'Ouest par la zone mobile panafricaine des mauritanides et rockelides et à l'Est par la zone panafricaine des chaînes pharusides, Dahoméyides et Gourma. Il comprend au Nord, la dorsale de Réguibat, au Sud la dorsale de Man (Léo) et est recouvert sur une grande partie de sa surface par les formations sédimentaires d'âge protérozoïque

supérieur des bassins de Tindouf au Nord, de Taoudéni dans sa partie centrale et bassin Voltaïque dans sa partie orientale.

La dorsale de Man à laquelle appartient la Côte d'Ivoire a subi des phénomènes orogéniques majeurs à savoir :

- ✚ l'orogénèse Léonienne (3,5-2,9 Ga) ;
- ✚ l'orogénèse Libérienne (2,9-2,4 Ga) ;
- ✚ l'orogénèse Eburnéenne (2,4-1,6 Ga).

Elle est formée de deux unités géologiques inégalement réparties : le socle cristallin et le bassin sédimentaire (Cf. figure 4)



1. Noyaux cratoniques majeurs.
2. Zones péricratoniques activées orogéniquement du précambrien terminal au début paléozoïque.
3. Ages supérieurs à 700 M.a., dans ces zones
4. Ages 680-580 Katangien
5. Ages 580-450 Damarien (Orogénie panafricaine)
6. Ages 450-350
7. Zones de socle rajeuni
8. Zones de plissements
9. Fractures profondes.
10. Aires marines secondaires et tertiaires.

Figure 4: Noyaux cratoniques de l'Afrique (Kennedy [1964], Rocci [1965] et Clifford [1968])

1.2.5.1.1 Socle cristallin

Le socle cristallin d'âge précambrien occupe 97,5% du territoire ivoirien. Il est constitué de deux principaux domaines géologiques séparés par la faille du Sassandra que sont : Le domaine Kenema-Man et le domaine Baoulé-Mossi.

✚ Le Domaine Kenema-Man

Il occupe les territoires du Libéria, la Sierra Leone et le sud de la Guinée. Ce domaine comporte des formations d'âge archéen structurées entre 3500Ma et 2400Ma par deux événements tectoniques majeurs à savoir les orogénèses Léonienne et Libérienne (Camil, 1984 ; Kouamelan, 1996). Les formations libériennes sont composées de granulites, gneiss, migmatites et d'amphibolo-pyroxénites. Les formations léoniennes sont des gneiss gris tonalitiques et granulites migmatitiques roses ;

✚ Le Domaine Baoulé-Mossi

Il représente le domaine le plus important occupé par les formations du protérozoïque inférieur (2500-1800 Ma). Il concerne également les fenêtres de Kayes et de Kéniéba-kedougou qui apparaissent respectivement au Mali et aux confins du Niger et du Sénégal. Ce domaine comporte les formations volcaniques birimiennes qui ont été mises en place après le Libérien. Il s'agit de sillons volcano-sédimentaire intrudés de gabbros, dolérites, andésites, rhyodacites et pyroclastites (Poucllet et al, 1996). L'ensemble de ces formations a été affecté par l'orogénèse Eburnéenne (2150-1900 Ma). Cette orogénèse est accompagnée par un métamorphisme de type schiste vert et par une intense granitisation.

En outre, il existe un domaine de transition moins important (**domaine SASCA**), qui s'étend au Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire depuis Toulepleu, Soubré, Sassandra, Taï jusqu'au fleuve Cavally. Il présente des caractéristiques pétrographiques de transition entre l'archéen et le protérozoïque. Parmi les formations rencontrées, on peut citer les micaschistes, les orthogneiss, les amphibolites (Kouamelan, 1996 ; Kouadio, 2017).

1.2.5.1.2 Bassin sédimentaire

Le bassin sédimentaire s'est formé lors de l'ouverture de l'océan atlantique, il y a 150 Ma et occupe le Sud de la Côte d'Ivoire. Il s'étend de Fresco jusqu'à la ville d'Axim au Ghana et présente deux (2) parties : la partie émergée ou zone onshore de 8000 km² qui s'étire d'Est en Ouest sur 360 km est dominée par les sédiments sablo-argileux qui continuent toujours de s'y déposer. Ces formations sont traversées d'Est en Ouest par la faille des lagunes et la zone offshore de 40000 km² s'étend d'Est en Ouest depuis la côte jusqu'à des profondeurs d'eau supérieures à 3000 m.

La figure ci-dessous présente la géologie de la Côte d'Ivoire.

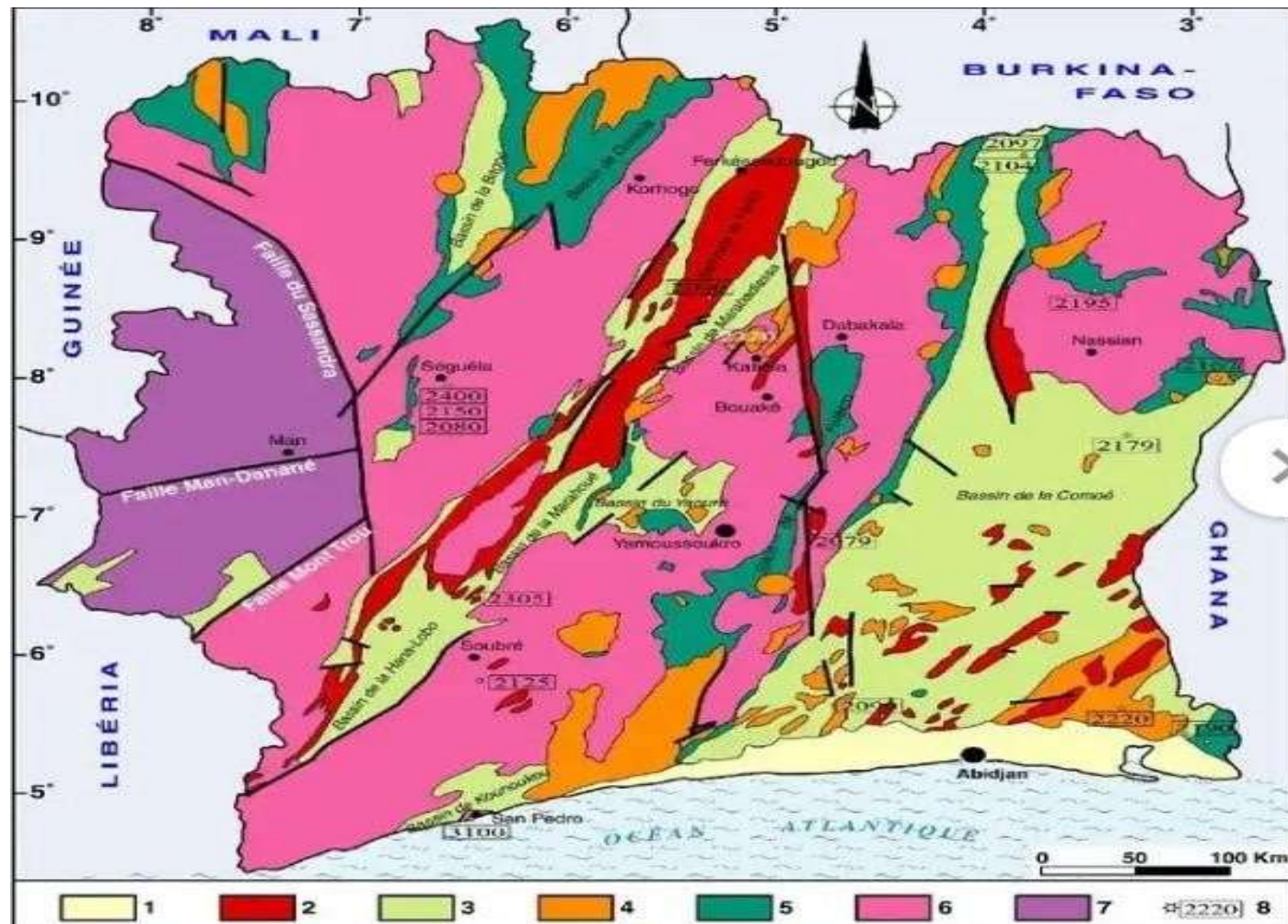


Figure 5 : Schéma simplifié des ensembles géologiques en Côte d'Ivoire

Source : la carte géologique au 1/100000 de la Côte d'Ivoire de Tagini, modifiée d'après Gbele

1.3. Géologie de la région de l'Ouest

Les deux principales unités tectono-stratigraphiques de la région de l'Ouest (Cf figure 6) sont les suivantes :

- ✚ un substrat archéen, désigné comme « socle gneissique » dans la zone des mines. Les roches de ce substrat sont intensément déformées et métamorphisées dans le faciès granulite. Les lithologies dominantes sont des migmatites, des gneiss et des formations ferrifères rubanées. Ces terrains se sont formés avant 2300 Ma ;
- ✚ des roches birimiennes reliées à l'orogénèse Eburnéenne, et comprenant une séquence volcano-sédimentaire ainsi que des intrusifs. La séquence volcano-sédimentaire forme un couloir de 10 à 15 km de large orienté NE-SW et elle est composée de roches métamorphiques des faciès schistes verts à amphibolites. Cette séquence est interprétée comme une relique charriée et préservée au centre d'un synclinorium affectant le complexe Kenema-Man. Elle forme ce que l'on désigne par le terme de « klippe Toulepleu-Ity ». Le centre de cette unité est occupé par l'ensemble granito-gneissique de Guiamapleu.

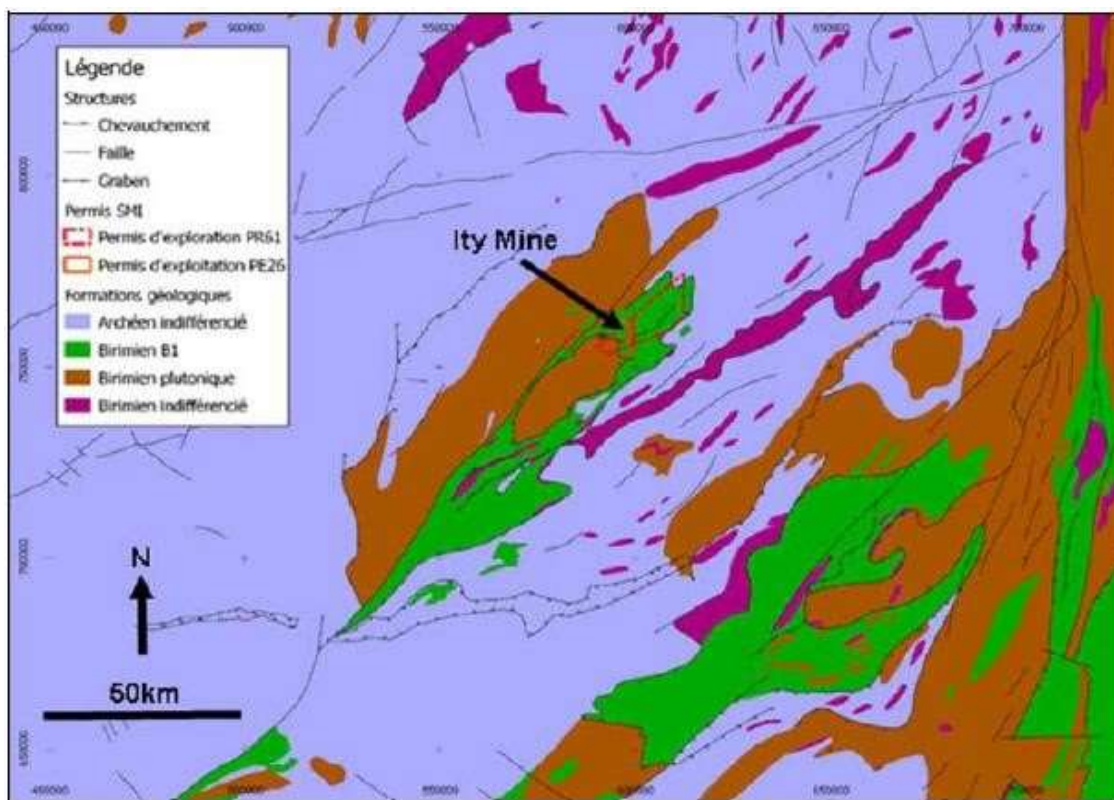


Figure 6: Carte de la géologie simplifiée du klippe Toulepleu-Ity (Ity CIL report, 2016)

1.3.1. Géologie des gisements d'Ity

Le gisement d'or d'Ity est situé dans les formations volcano-sédimentaires de l'unité ToulepleuIty (Naho et Pothin, 1998). Ce gisement est constitué de cinq (5) collines porteuses de minéralisation aurifère. Il s'agit des monts Flotouo ; Zia ; Tontouo ; Ity et Walter (Papon, 1973). La zone d'Ity est caractérisée par une série d'intrusions granodioritiques dans une séquence sédimentaire de volcan-sédiments et de carbonates. Les dépôts volcaniques sont des gisements tuffacés dont la chimie varie de basique à acide. Toutes les formations ont été soumises au métamorphisme régional. Deux phases de déformation sont intervenues dans la mise en place de la minéralisation. Il s'agit de la **déformation D1** et un métamorphisme régional de type épizonal à mésozonal qui lui confère une orientation structurale générale NE-SW avec un pendage variant de 45° à 70° vers le NW et de la **déformation D2** marquée dès les débuts par l'intrusion d'une rhyolite qui engendre un stockwerk minéralisé traversant la frontière de la rhyolite et des carbonates et vers la fin de cette phase, l'intrusion d'une roche plutonique (granodiorite à tonalite) ;

Les gisements d'Ity, Zia et Flotouo sont des skarns développés aux contacts de la granodiorite avec les carbonates. La Teckraie est la décharge rocheuse de la mine à ciel ouvert de Flotouo et repose sur une granodiorite altérée. Le gisement de Bakatouo quant à lui ,est caractérisé par la présence de roches metavolcano-sédimentaires acides, basiques et carbonatées avec des tendances intermédiaires. Ces formations sont parfois traversées par des intrusions de granodiorites et de diorites. Les skarns et les roches volcano-sédimentaires sont porteurs de la minéralisation (*Cf. figure 7*).

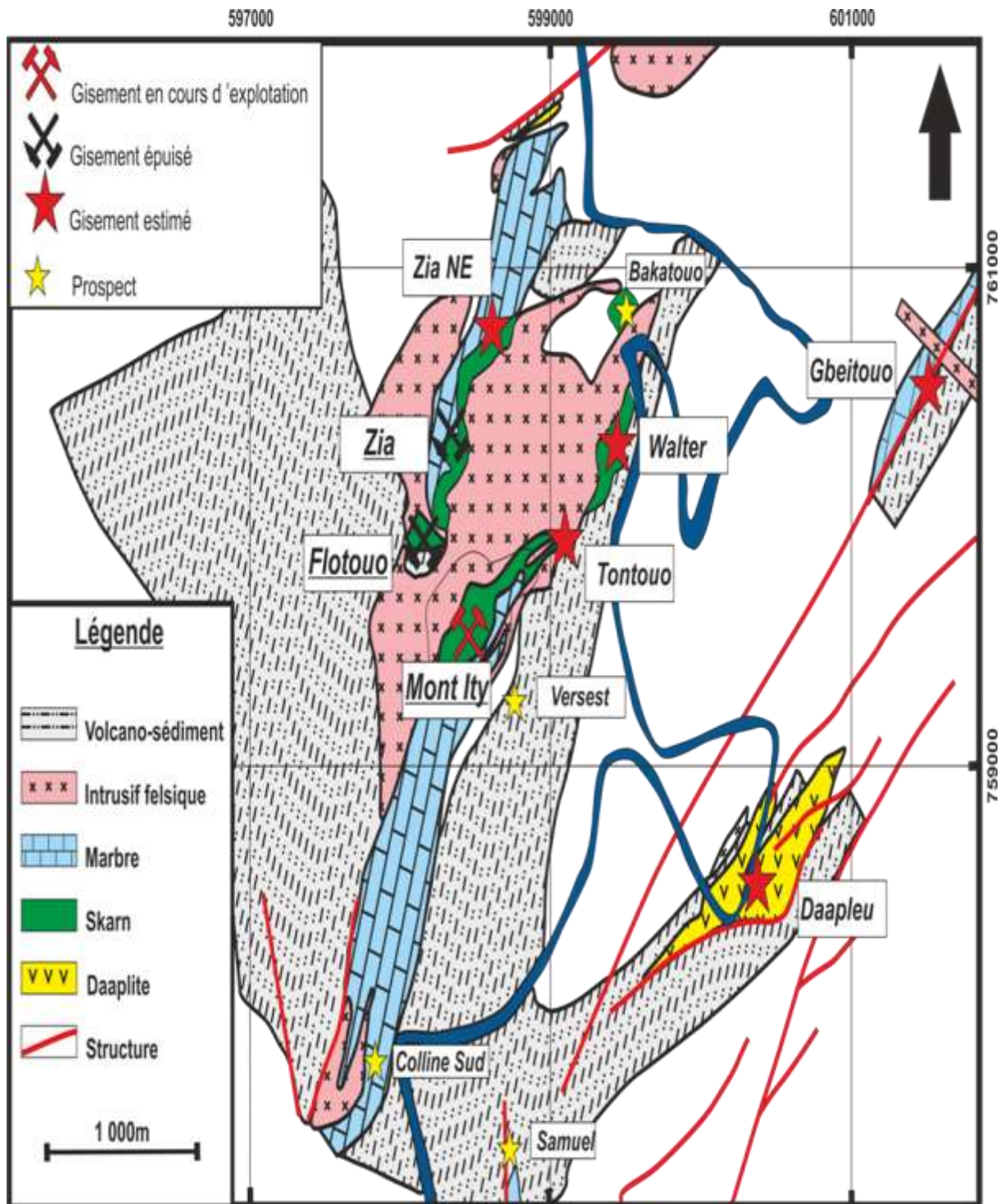


Figure 7: Carte géologique des gisements d'Ity (SMI-2017-Rapport de fin de campagne Daapleu, D.Dosso,2017)

1.4. GENERALITES SUR LE THEME

1.4.1. Méthode d'exploitation à la mine d'or d'Ity

Comme toutes les mines d'or actuellement en exploitation en Côte d'Ivoire, la mine d'or d'ITY est une mine à ciel ouvert. L'exploitation à ciel ouvert consiste à enlever les stériles de recouvrement afin d'accéder au gisement. La technique utilisée est celle des fosses emboîtées. Une première fosse est créée suivie d'autres fosses qui s'emboîtent les unes aux précédentes. Le point le plus bas du gisement n'est atteint, qu'à la fin de l'exploitation.

1.4.2. Opérations de forage et de dynamitage

En phase d'exploitation d'une mine, lorsque l'on est dans la roche dure, des trous de mines sont forés pour y mettre des explosifs. La mine d'or d'Ity dispose de trois (3) foreuses. Ce sont des foreuses à chenilles de marque DP500i. Ces foreuses sont conçues pour forer des trous de diamètre allant de 76 mm à 152 mm. Elles utilisent à la SMI des taillants de 102 mm, 115 mm ou 127 mm, avant toute opération de forage, les Ingénieurs du Service Ingénierie, conçoivent les plans de forage des volées à sauter à partir de certains paramètres importants dont le choix influence le sautage.

1-4.2.1 Paramètres liés aux opérations de forage

Les différents paramètres liés aux opérations de forage sont :

- ✚ le diamètre du trou ;
- ✚ la profondeur du trou ;
- ✚ l'inclinaison du trou ;
- ✚ la maille.

1.4.2.1.1 Diamètre du trou

Le diamètre des trous est choisi de sorte qu'en combinaison avec le positionnement adéquat des trous (choix de la maille de foration), l'on obtienne une meilleure fragmentation de la roche, facilitant la tâche aux engins de chargement, de transport et de concassage.

Aussi, le choix du diamètre des trous sera-t-il conditionné par d'autres facteurs tels que :

- ✚ la hauteur du gradin (banc d'exploitation ou front de taille) ;
- ✚ les caractéristiques de la roche ;
- ✚ le type d'explosifs à utiliser .

A la mine d'or d'Ity, le diamètre est fixé en fonction du type de trou par les ingénieurs du Service Ingénierie. Il existe trois (3) types de trous de mine qui sont :

- ✚ **les trous de pré découpage** : ils sont les plus proches du mur et servent à tailler le front final souhaité pour une meilleure stabilité des talus . Ils se présentent en une seule ligne dont l'allure dépend de celle qu'aura le mur final ;
- ✚ **les trous d'amortissement** : comme le nom l'indique, ils servent à amortir l'énergie en provenance des trous de production afin de protéger le mur déjà acquis par les trous de découpage. Ils sont forés sur une seule ligne après la ligne des trous de prédécoupage (en partant du mur) ;
- ✚ **les trous de production** : ils servent à fragmenter le matériau à excaver et sont les plus nombreux sur une volée donnée. Ils peuvent être sautés seuls mais dans le cas où ils sont accompagnés des autres types de trous, ils sont situés juste après la ligne des trous d'amortissement (en partant du mur). (Cf Figure 8).

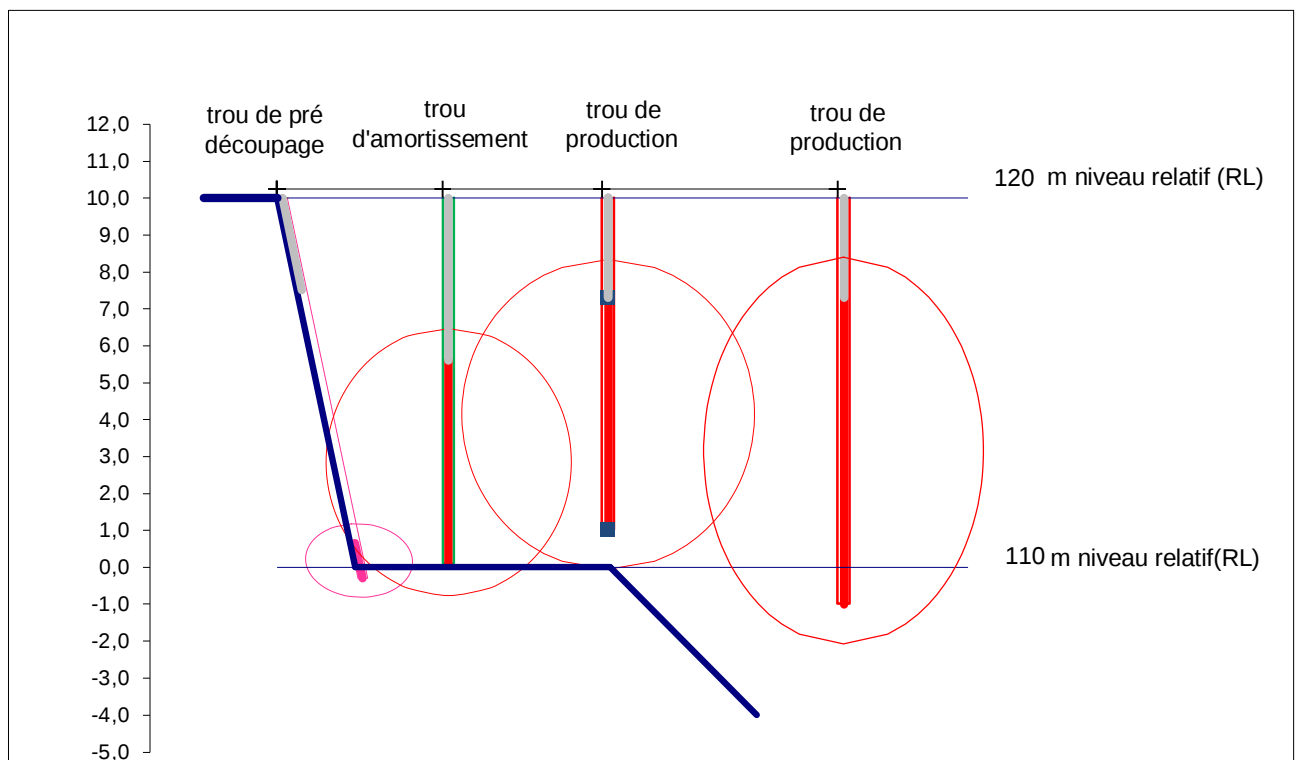


Figure 8: Différents trous de mines (rapport du tir Ity 245_240_306)

1-4.2.1.2 Maille de foration

La maille de foration est le couple banquette-espacement. Elle dépend surtout de la taille du carreau à abattre et du type de matériau en place. La banquette (B), est définie comme la distance entre deux (2) rangées consécutives de trous de mine. En réalité, c'est la distance entre une rangée de trous de mine et le front de taille le plus proche. Elle est l'un des paramètres les plus importants dans la conception d'un plan de tir. Quant à l'espacement (E), c'est la distance qui sépare deux (2) trous de mine consécutifs d'une même rangée. Dans le forage, il existe plusieurs types de mailles ;

- ✚ maille rectangulaire ($E \neq B$) ;
- ✚ maille carrée ($E = B$) ;
- ✚ maille quinconce ou maille triangulaire.

A la mine d'or d'Ity, c'est la maille de type quinconce qui est utilisée car elle permet une meilleure distribution de l'énergie de fragmentation. Le marquage des trous de forage est fait par les topographes avec un ensemble de GPS différentiel d'une précision de plus ou moins un (1) centimètre (cm) .

1-4.2.1.3 Profondeur du trou

La profondeur des trous de mines est égale à la hauteur du front de taille à exploiter et celle la surforation. La hauteur du banc d'exploitation, est la distance verticale séparant deux niveaux relatifs horizontaux (inférieur et supérieur) de la fosse d'exploitation. Elle est choisie non seulement en fonction du fardeau ou banquette qui est la distance entre le front de taille et le 1^{er} trou de mine, mais aussi du diamètre du taillant de la foreuse. La surforation, est la longueur de foration additionnelle par rapport au carreau à sauter. A la mine d'Ity elle est généralement de 1m.

1-4.2.1.4 Inclinaison du trou

Les trous de mine sont forés de façon verticale c'est-à-dire avec un angle de 90° par rapport à l'horizontale pour les trous de production et avec un angle de 55° pour les trous de pré-découpages.

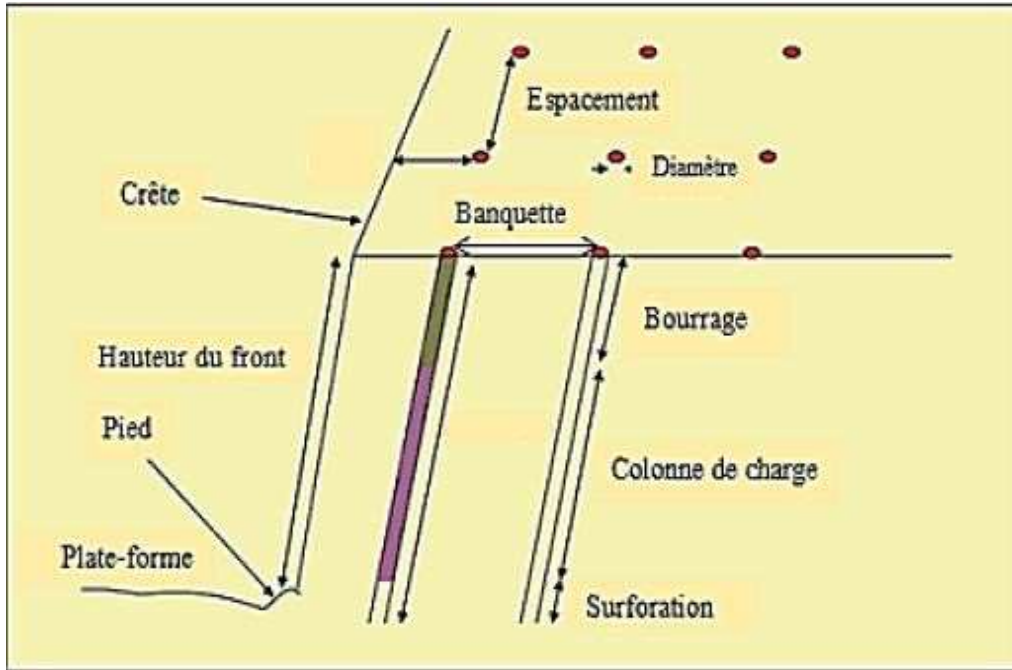


Figure 9:Eléments caractéristiques du plan de forage

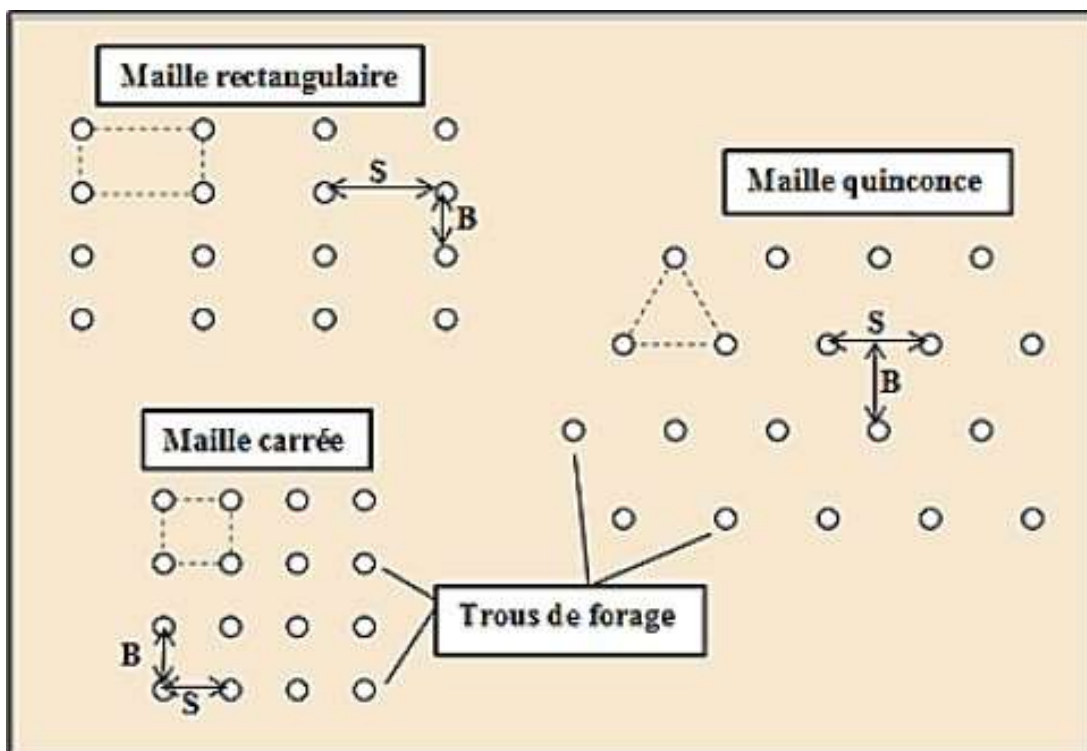


Figure 10: Différents types de mailles d'un forage

1.4.2.2 Dynamitage

Une fois la phase de conception du forage des trous de mines achevée, la prochaine étape est le plan de chargement d'explosifs de ces trous. La mise en œuvre de plan est appelé sautage ou dynamitage.

1.4.2.3 Chargement des trous de mines

Le chargement des trous de forage par des explosifs se déroule en plusieurs phases. La première phase est celle de la mise en place de la cartouche amorce, la seconde est le pompage du produit explosif, la troisième consiste à mesurer la hauteur du bourrage et la dernière est celle du bourrage.

1.4.2.4 Phase d'amorçage

L'amorçage consiste à connecter au boosteur un cordeau détonant et à le placer au fond du trou. Le boosteur est un produit explosif dont le conditionnement spécial est conçu pour constituer une charge amorce contenant le détonateur. Il se présente sous forme de cartouche de forme cylindrique de 10 cm de long et de 2,5 cm de diamètre avec deux (2) orifices sur la face supérieure et un (1) orifice sur la face inférieure. Le boosteur est un mélange de 50% de Pentaérythritol (PETN) et de 50% de Trinitrotoluène (TNT). Il a une densité de 1,48 et une vitesse de détonation de 7600 m/s. Les détonateurs utilisés pour l'amorçage sont des détonateurs Non ELectriques (NONEL) à microretard.

1.4.2.5 Phase de pompage du produit

Le produit pompé dans les trous de production à la mine d'Ity est l'émulsion composite. L'émulsion composite est un mélange de 80% d'émulsion et de 20% d'Ammonium Nitrate Fioul Oil (ANFO) avec une densité moyenne de 1,15. L'ANFO est un mélange de 94% de nitrate d'ammonium et de 6% de fuel associé au gasoil. Avec une faible densité de 0,9 et une vitesse de détonation de 3700 m/s.

1.4.2.6 Phase de vérification de la hauteur du bourrage

Après avoir injecté l'émulsion composite dans un trou de production, la hauteur du bourrage est mesurée à l'aide d'un fil conçu à cet effet pour s'assurer du respect de la hauteur recommandée par les Ingénieurs du service Ingénierie.

1.4.2.7 Phase du bourrage

Après une dernière vérification de la hauteur du bourrage, le trou est refermé avec un matériau de bourrage. L'utilisation de matériau de bourrage pour remplir la partie supérieure du trou de production au-dessus de l'émulsion composite permet de confiner l'énergie libérée par celle-ci afin d'accroître son action dans la masse rocheuse. A la mine d'or d'Ity, le matériau de bourrage recommandé est du gravier anguleux et de taille homogène. La dimension requise de gravier est de l'ordre de 10 % du diamètre du trou. Voici un exemple de plan de chargement conçu par les Ingénieurs grâce au logiciels Surpac qui définit les différentes quantités pour le bourrage.

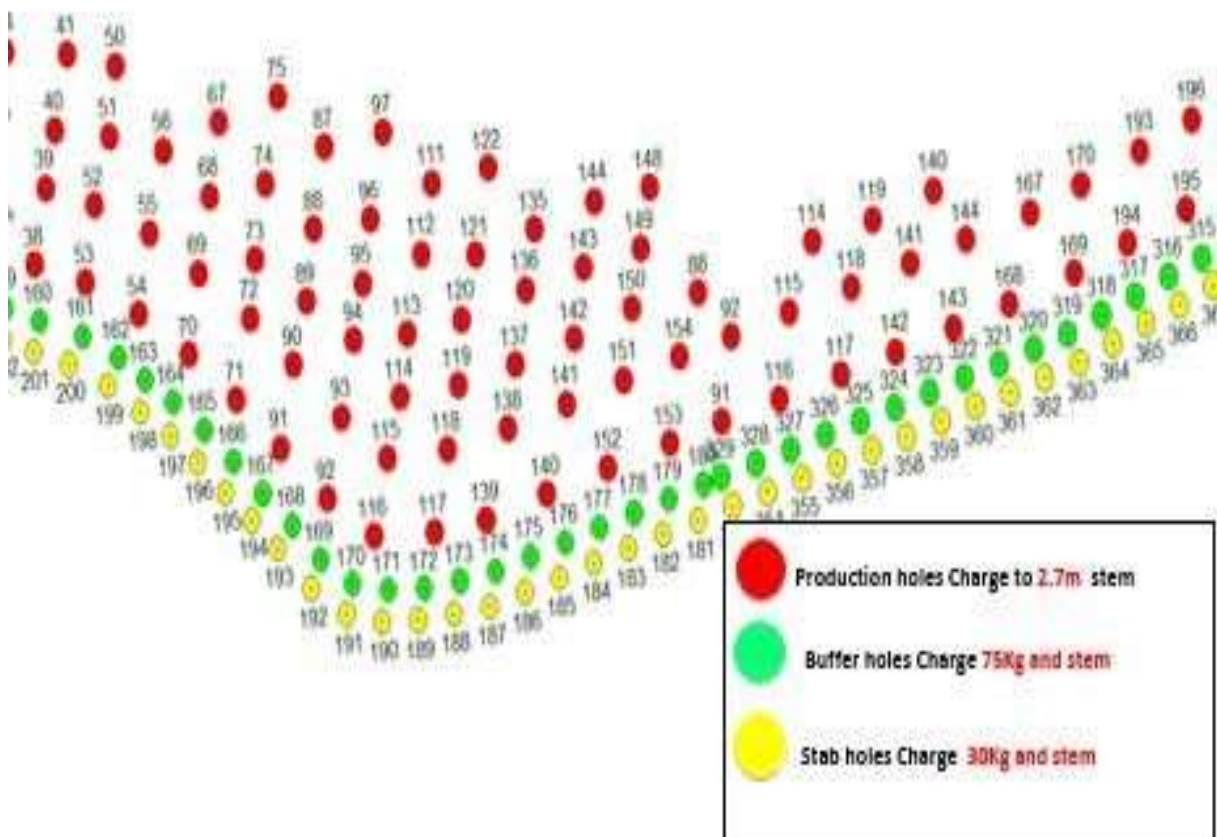


Figure 11: Exemple de plan de chargement

1.4.3. Notion de simulation

La simulation informatique désigne l'exécution d'un programme informatique sur un ordinateur en vue de simuler un phénomène physique réel.

Algorithme

Un algorithme est une suite finie et non ambiguë d'opérations ou d'instructions permettant de résoudre un type de problème.

Programme informatique

Un programme informatique est un ensemble d'opérations destinées à être exécutées par un ordinateur.

1.4.4. Langage de programmation

Un langage de programmation est une notation conventionnelle destinée à formuler des algorithmes et produire des programmes informatiques qui les appliquent.

Programmation orientée objet (POO)

La programmation orientée objet est une approche de la conception de systèmes logiciels modulaires réutilisables. L'approche orientée objet est une évolution des bonnes pratiques de conception remontant au tout début de la programmation.

L'objet

En informatique, un objet est un conteneur symbolique et autonome qui contient des informations et des mécanismes concernant un sujet. Il est créé à partir d'un modèle appelé classe, dont il hérite les comportements et les caractéristiques. Les comportements et les caractéristiques sont typiquement basés sur celles propres aux choses qui ont inspiré l'objet.

Les classes

En programmation orientée objet, une classe représente une catégorie d'objets. Elle apparaît comme un moule ou une usine à partir de laquelle il est possible de créer des objets ; c'est en quelque sorte une boîte à outils qui permet de fabriquer un objet.

1.5. Importance des prédictions et contrôle des jets de pierres

Les projections de pierres (jets de pierres) peuvent être un risque grave associé au dynamitage. De nombreux accidents de dynamitage de surface impliquant des blessures, des dommages matériels à la mine où chantier de construction sont causés par des fragments propulsés au-delà de la zone d'explosion. L'importance des dommages est fonction de la taille de l'élément projeté, de la vitesse et de l'angle de sa trajectoire. Ainsi, une bonne conception du plan de tir, une parfaite connaissance du terrain et des facteurs intervenant sont essentielles pour contrôler les projections excessives de pierres. L'explosion doit être correctement mise en œuvre conformément au plan de conception. La gestion totale des opérations de dynamitage est essentielle pour éliminer les anomalies et incidents dus aux projections de pierres. Cela revient donc à contrôler tous les paramètres intervenant dans les opérations de forage et dynamitage.

Il y a deux zones de projection qui peuvent être qualifiées de « normales » ou « excessives ». La zone normale de projection fait référence à la région où les projections devraient se produire, c'est-à-dire la zone à partir de laquelle le personnel est évacué avant le dynamitage et est bouclée pendant l'explosion.

La zone de projection excessive est celle au-delà de la zone protégée où ces projections se produisent anormalement.

Les projections de pierres peuvent résulter de trois mécanismes (*Cf. figure 12*) qui sont :

- ✚ **l'explosion de face** : causée par une fuite à haute pression de gaz d'explosif à travers une structure géologique fragilisée ;
- ✚ **l'explosion en forme d'entonnoir** : causée soit par une hauteur de bourrage jugée trop petite pour un diamètre de trou donné ou que le col du trou en question est assez faible (fracturé). Dans ce genre de cas il peut avoir projections de roches dans différents sens (différents angles) ;
- ✚ **l'explosion par une fente** : la hauteur de bourrage pour confiner la matière explosive est inefficace ou insuffisante; les gaz peuvent sortir par le haut. (Angle de 90 degrés avec l'horizontal).

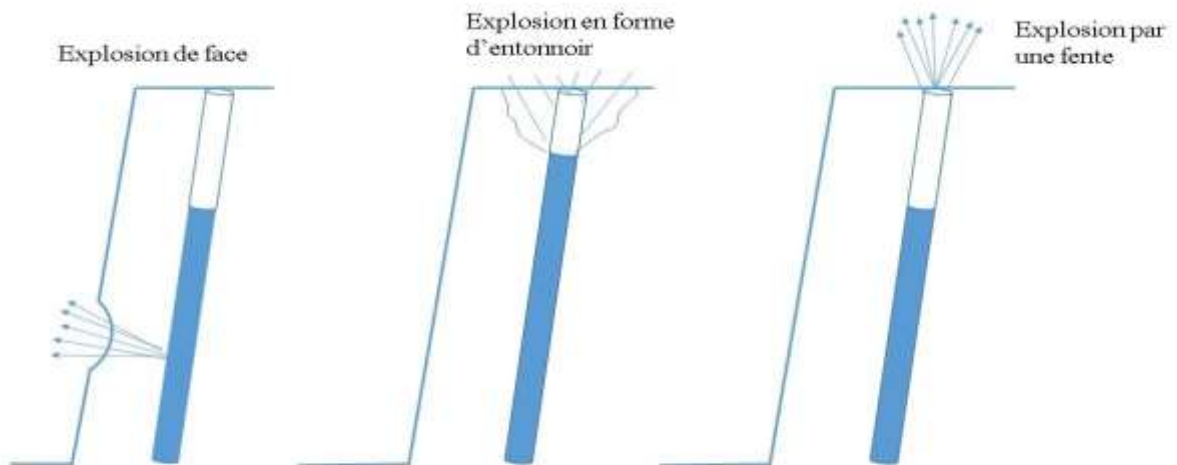


Figure 12 : Différents mécanismes de projections de roches

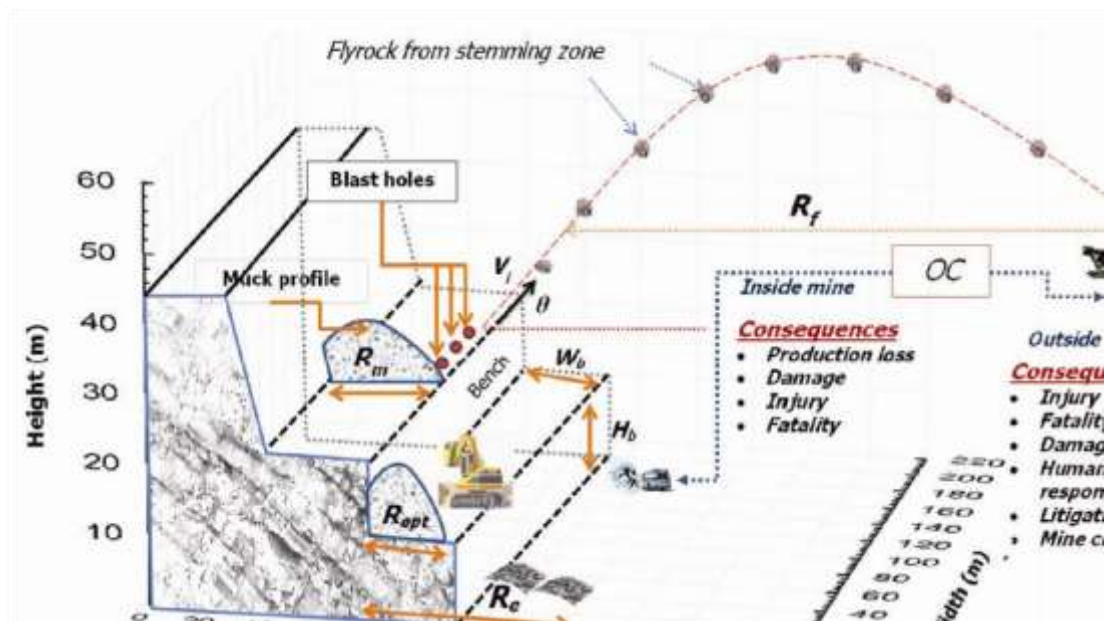


Figure 13: exemple d'un jet de pierre et quelques impacts



CHAPITRE II : MATERIEL ET METHODES

2.1 MATERIEL

Le matériel utilisé est constitué des équipements de protection individuelle, du matériel technique et des outils informatiques.

2.1.1 Equipements de protection individuelle (EPI)

La société des Mines d'Ity a adopté une politique santé-sécurité au travail très rigoureuse si bien que les Equipements de Protection Individuelle sont non seulement obligatoires pour tout accès dans la fosse mais aussi à ses alentours. Ceux-ci ont pour rôle premier de protéger l'individu les portant et de réduire ainsi les risques divers auxquels sont exposés les travailleurs.

Tableau I: Equipements de protection individuelle

EQUIPEMENTS	UTILISATION
Un casque	Protection de la tête
Des chaussures de sécurité	Protection des pieds
Combinaison ou gilet à bandes réfléchissantes	Permet d'être visible à tout temps et en tout lieu.
Lunettes	Protection des yeux

Les images relatives à ces équipements sont en **annexe I**.

2.1.2 Matériel technique

2.1.2.1. Fichiers string et DTM

Le matériel technique concerne les fichiers numériques utilisés, à savoir les Fichiers String et DTM. Le String est le format d'enregistrement utilisé pour stocker des informations dans le logiciel Surpac. Le fichier String contient des informations sur les coordonnées d'un ou plusieurs points. Un fichier DTM (Digital Terrain Model) est généré à partir du fichier String. C'est la représentation numérique en trois dimensions (3D) du terrain. Ils ont servi à la réalisation des sections des fosses d'exploitation.

2.1.2.2 Fiche des paramètres de tirs à la mine d'Ity

Cette fiche a permis d'identifier les différents paramètres de tirs utilisés à la SMI (**voir annexe II**). Ces paramètres serviront de paramètres d'entrée pour la simulation des tirs.

2.1.3 Matériel informatique

Le matériel informatique représente les logiciels ayant servi à la réalisation du rapport. Il est composé d'un ordinateur portable et de divers logiciels que sont :

Les logiciels

Microsoft Excel



Il a permis un meilleur traitement et utilisation des données sous forme de tableau.

Distribution Anaconda

Anaconda est une distribution Python libre qui intègre directement un grand nombre de packages appliqués au développement d'applications dédiées à la science des données et à l'apprentissage automatique (calcul scientifique, analyse prédictive, traitement de données à grande échelle)



Figure 14 : logo anaconda

PyCharm for Anaconda Community Edition

PyCharm est un environnement de développement intégré utilisé pour programmer en python. Développé par l'entreprise tchèque jetBrains, c'est un logiciel multi-plateforme qui fonctionne sur Windows, Mac Os X et Linux. Il est décliné en édition professionnelle, diffusé sous licence propriétaire et en édition communautaire diffusé sous licence Apache.



Figure 14: logo de PyCharm

Surpac

Il a servi à réaliser les sections de profil de la fosse, identifier les coordonnées UTM (X, Y et Z) des banquettes et des talus puis de déterminer les distances entre deux vecteurs position

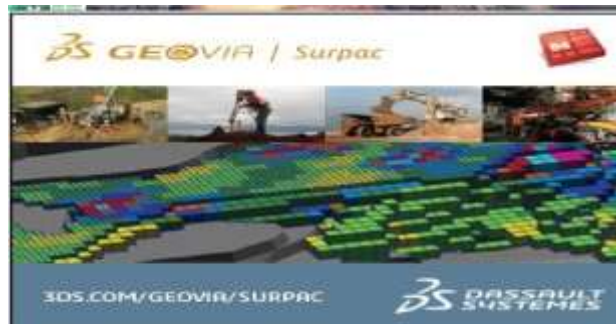


Figure 15: logo de Surpac

2.2 METHODES

2.2.1 Recherche documentaire

La première étape du présent travail a consisté à effectuer une recherche documentaire. Celle-ci a permis de faire le tour de la problématique sous-jacente du thème afin d'en cerner les contours, les nuances et de savoir comment au mieux l'aborder avec succès. Ces recherches ont également permis de s'assurer de l'effectivité des outils nécessaires à l'automatisation des calculs qui découleraient du développement du thème.

2.2.2 Choix d'un outil d'aide à la simulation

Conscients des nombreux calculs que demanderait la résolution de ce problème, nous avons opté pour le choix d'un outil informatique qui nous aiderait à réduire considérablement le temps de résolution du problème quel que soit la taille de celui-ci. Dans nos recherches il nous a été donné de connaître plusieurs langages de programmation notamment Java, Python, C, Visual Basic. Mais un seul a pu retenir l'attention. Il s'agit de Python.

Le choix du langage de programmation Python réside dans le fait qu'il offre une syntaxe archi-simple, il possède plusieurs librairies, outils pour à peu près tout avec une vaste communauté :

- ✚ Numpy et scipy pour les calculs ;
- ✚ Matplotlib et Seaborn pour la visualisation ;
- ✚ Pandas pour gérer les données.

A cela il faut ajouter :

- ✚ La facilité d'utilisation pour les débutants ;
- ✚ la facilité d'utilisation et de manipulation de ce système même par un novice en informatique ;
- ✚ le langage naturel facilitant l'écriture des lignes de codes souhaitées et peu de syntaxes ambiguës (les syntaxes sont en anglais basique) .

2.2.3 DEVELOPPEMENT D'UN MODELE D'OPTIMISATION

2.2.3.1 Identification des paramètres d'entrée

L'identification des paramètres de tir consiste à déterminer les différents paramètres intervenant lors des activités de dynamitage. Ces différents paramètres serviront de paramètres d'entrée dans le logiciel de simulation afin de déterminer les projections maximales lors des tirs. Il existe deux (2) paramètres majeurs que sont : les paramètres naturels et les paramètres techniques.

Paramètres naturels

Les paramètres naturels font références à la nature du matériau, la discontinuité structurale :

Nature du matériau

C'est la nature du bloc à dynamiter L'on en distingue généralement trois types que sont l'oxyde, la transition et la roche saine. Les tirs de mines sont effectués dans la roche de transition et la roche saine. La nature du matériau implique également le facteur forme qui est lié au type de roche présent et la densité du matériau dans la zone à dynamiter.

Des essais mécaniques et des mesures physiques sur les échantillons ont permis d'obtenir des données parlantes en géotechnique tels que :

La densité du matériau

La couche oxyde de densité 1,83 dans cette partie l'exploitation se fait qu'à coup de pelles d'excavatrice ; la couche de transition de densité 2,12 ; la roche dure de densité 2,7.

Ce sont respectivement les deux (2) dernières couches évoquées qui susciteront l'étude d'estimation de projection de roches dans la suite.

Discontinuités structurales

La présence de fractures sur une volée engendre des fuites du produit lors du chargement de l'explosif dans les trous de mine. Ces fuites ont tendance à remplir les fractures d'explosif et créer des zones de surcharges. L'excès d'explosif pourrait causer des projections de pierres du fait d'une trop grande énergie dans le rayon d'action du trou. En plus, ce sont les zones qui réduisent l'énergie des gaz.

Paramètres techniques

Les paramètres techniques sont scindés en deux (2) à savoir les paramètres liés au bourrage et les paramètres liés au trous de mines.

Paramètres liés aux trous

Diamètre du trou

Le diamètre de trou est défini de sorte à ce que la charge utilisée donne la fragmentation voulue. Chaque diamètre de trou correspond à une charge linéaire bien définie. Augmenter cette charge nécessaire pour dynamiter le bloc pourrait causer des surcharges et conduire à des projections de pierres.

Profondeur du trou

Un trou de mine de profondeur différente à celle planifiée pourrait jouer sur la hauteur de bourrage en ce sens que si la hauteur est différente de celle planifiée et que la quantité d'explosif n'est pas corrigée en fonction, l'on aura une hauteur de bourrage plus petite ou plus grande. Avoir une hauteur de bourrage plus petite peut provoquer des projections de pierres car le confinement de l'énergie n'est pas optimal.

Taille maximale des fragments

La taille maximale de fragments produite dans les tirs est rarement évoquée en détail dans la littérature. Il est communément admis que ce paramètre est fortement influencé par la configuration géologique in situ et la quantité d'explosif utilisée.

Paramètres liés au bourrage

La hauteur de bourrage

La hauteur de bourrage représente la longueur de gravier qu'il faut appliquer pour assurer un niveau de confinement efficace de l'énergie dans le trou de forage.

2.2.4 Modélisation de la projection de pierre

Plusieurs études sur les projections de pierres ont été menées utilisant soit des équations cinématiques simples pour décrire le mouvement des particules de la roche après leur éjection des collets des trous de mine (Roth 1981, Workman & Calder 1994, Richards & Moore 2006), soit présentant des équations plus réalistes pour décrire le mouvement de la roche et de prédire la portée de la projection des pierres St George & Gibson (2001), Chernigovskii (1985).

Pour cette étude, la simulation est basée sur les équations réalistes de mouvement proposées par Chernigovskii (1985) pour calculer les trajectoires de particules sous l'influence de la résistance de l'air, couplé aux équations de profondeur d'enterrement de Lundborg et celle décrite par Chiappetta (1983).

2.2.4.1 Différences entre les modèles réalistes et cinématiques pour l'estimation de la projection

La tâche d'évaluer le risque des roches se résume finalement à la question de savoir jusqu'à quelle distance se trouvent les fragments de roches susceptibles d'être projetés en fonction de la conception du tir. Cela conduit inévitablement à des méthodes d'estimation des vitesses d'éjection et des distances de projection résultantes de fragments de différentes tailles, et faire des recommandations sur la conception du tir en fonction des vitesses de projection estimées des fragments. Un modèle de projection de pierre fiable doit donc pouvoir fournir des estimations raisonnablement précises des vitesses de projection et distance de projection, idéalement en fonction de la taille des fragments et de la conception du tir.

La différence entre des modèles réalistes de mouvement de particules dans l'air et les modèles cinématiques simples, sont illustrés à la figure ci-dessous (**figure 16**),

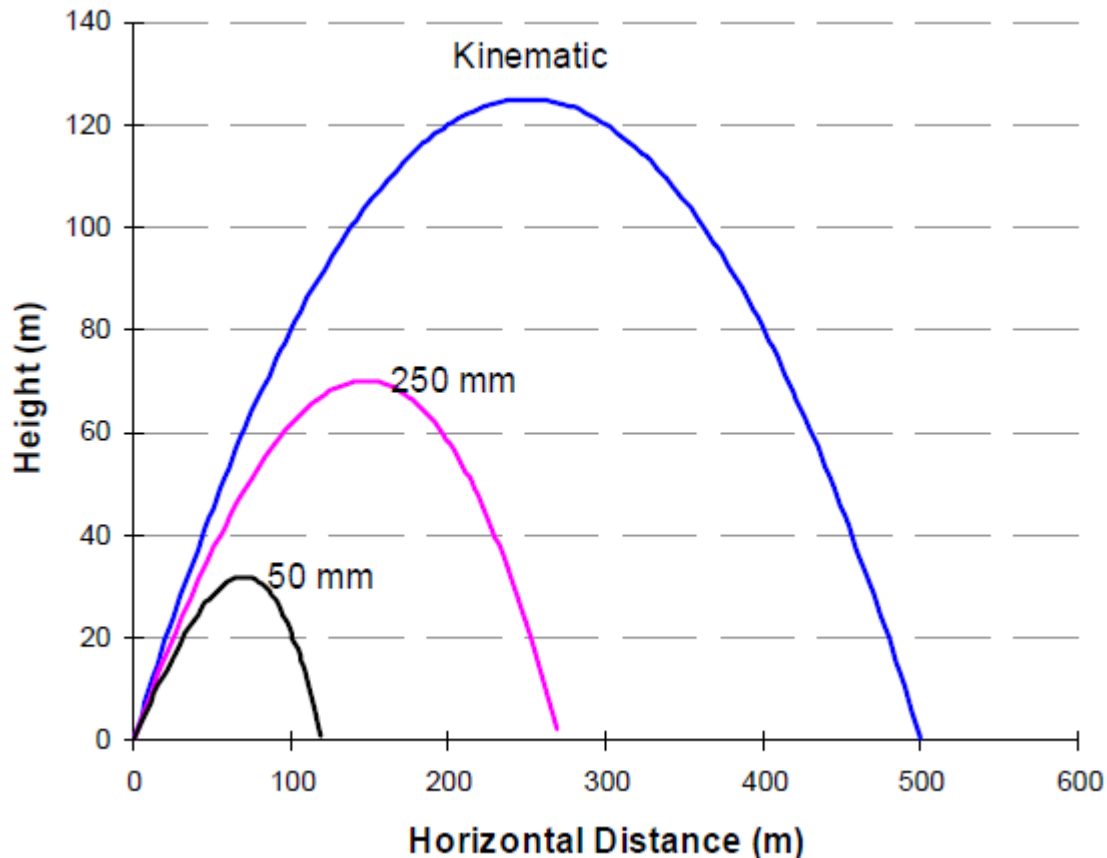


Figure 16: Comparaison entre le modèle cinématique et le modèle réaliste (Cameron McKenzie, 2013 page 2)

Sur la figure 16, dans le cas de deux particules de tailles différentes présentant chacune une vitesse de lancement de 70 m/s, le modèle cinématique prédit 500 m comme la distance de projection maximale pour toutes les tailles de particules, alors que pour des modèles plus réalistes, la distance de projection maximale dépend fortement de la taille des particules.

Pour une particule de taille 50 mm la projection maximale est de 120 m alors que pour une autre de taille 250 mm la projection maximale est de 280 m L'écart important entre les prédictions cinématiques de la distance de projection et de la vitesse de projection et des prévisions réalistes exigent que les modèles de projection de pierre crédibles n'utilisent pas de simples équations cinématiques de mouvement, conclusion appuyée dans les travaux de St George et Gibson (2001). En outre les équations cinématiques ont le désavantage de ne fournir aucune information sur la taille de fragments en cours de projection.

2.2.4.2 Mouvement réaliste de projection de pierres

Lundborg (1974), Lundborg *et al.* (1975) ont entrepris une série d'analyses expérimentales et théoriques du comportement des pierres projetées lors des tirs à l'explosif, en utilisant des équations pour estimer les vitesses de lancement des particules, et des équations réalistes de mouvement intégrant l'effet de la résistance de l'air.

L'équation développée pour décrire la vitesse initiale des fragments projetés était la suivante :

$$V_o = 15.334 * \left[\left(\frac{x_f}{F_s} \right) * \left(\frac{\rho_r}{2.6} \right) \right]^{0.5}$$

Équation 1

Avec :

- + $x_{f(m)}$ taille des particules ;
- + V_o (m/s) vitesse de projection ;
- + ρ_r (g /cm³) densité de la roche ;
- + F_s : facteur forme.

2.2.4.3 Profondeur d'enfouissement

Le concept de profondeur d'enfouissement d'une charge a été défini à la suite d'expériences par Chiappetta (1983). Cette méthode permet de déterminer le niveau de bourrage optimal pour assurer le niveau de confinement d'énergie. A l'aide de sa formule qui est le rapport entre la distance depuis la surface du trou jusqu'au centre de la quantité d'explosif et la racine cubique de la quantité d'explosif, l'on s'assure que la hauteur de bourrage déterminée permettra d'assurer le confinement de l'énergie.

$$SD = \frac{S_t + (0.5 * L)}{(\beta_{load} * L)^{\frac{1}{3}}}$$

Équation 2

$$\beta_{load} = \left(\frac{\pi * \Phi^2 * d_{exp}}{4000} \right)$$

Équation 3

Avec :

- + $d_{exp} (g/cm^3)$: densité de l'explosif ;
- + $L (m)$: la longueur de la charge exprimée en multiple du diamètre du trou ;
- + $\beta_{load} (kg/m)$: charge linéaire ;
- + $SD(m/kg)$: Scaled Depth of Burial;
- + $S_t(m)$: hauteur de bourrage ;
- + $\Phi (m)$: diamètre du trou.

Pour un diamètre de trou inférieur à 100 mm, L prend une valeur maximale de 8 et une valeur maximale de 10 pour un diamètre de trou supérieur ou égal à 100 mm

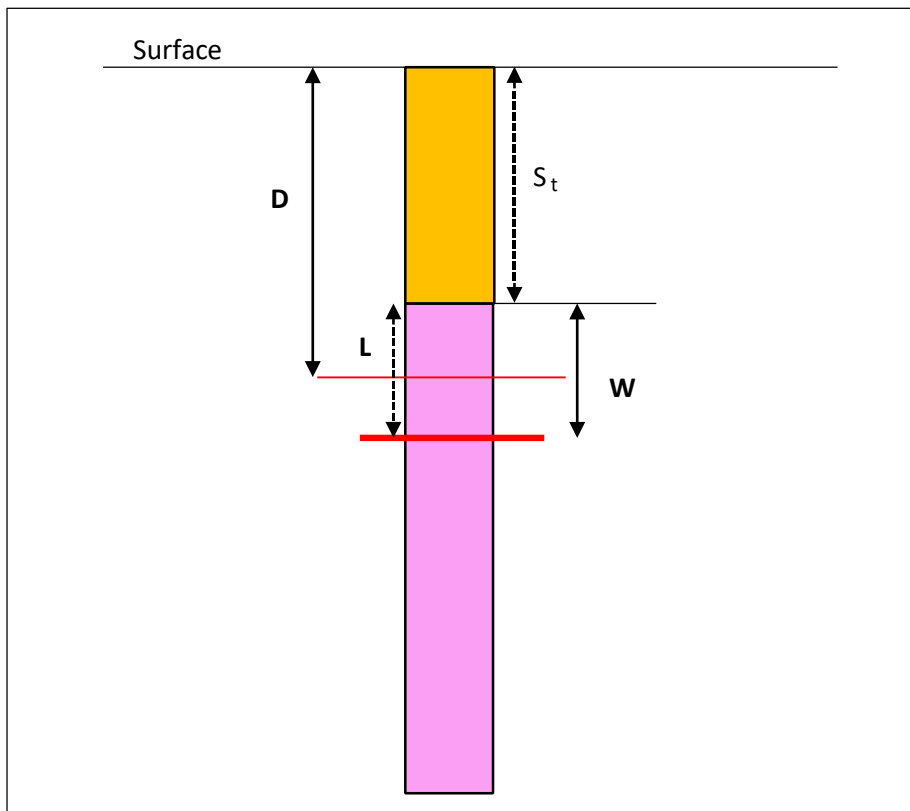


Figure 17: Diagramme du confinement de l'énergie

Avec :

- ✚ **D (m)** : distance de la surface du trou au centre de W ;
- ✚ **W (m²/kg)** : quantité d'explosif sur L.

La détermination de la hauteur de bourrage est basée sur la règle du **20×Ø à 30×Ø** du trou. Cette règle consiste à obtenir différentes hauteurs de bourrage (H) à partir du diamètre telles que :

$$20\phi \leq S_t \leq 30\phi$$

Équation 4

Cette formule signifie que la hauteur de bourrage (S_t) est au minimum égale à 20 fois le diamètre du trou (ϕ) et au maximum à 30 fois le diamètre du trou.

Dans cette étude, il s'agira de vérifier à partir de la règle du **20×Ø à 30×Ø** et du SD si la hauteur de bourrage de l'entreprise qui servira de paramètre d'entrée à la simulation est optimale ou pas.

Son principe est basé sur le fait que SD doit être compris entre 0.9 et 1.4 pour être dit optimal, en dessous et au-dessus de cet intervalle, on a un mauvais niveau de confinement.

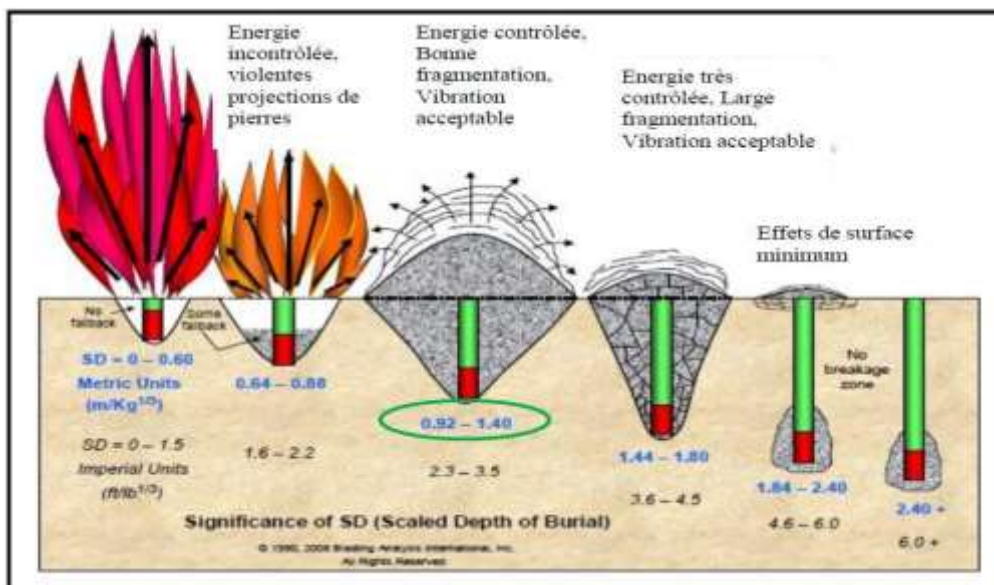


Figure 18: Niveau de confinement d'énergie (Cameron McKenzie, 2013 page 3)

2.2.4.4 Equations de mouvement de particules avec résistance à l'air de Chernigovskii

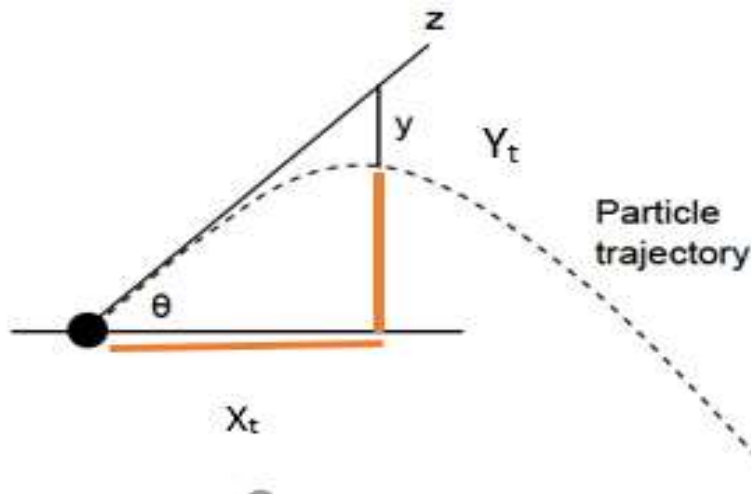


Figure 19 : Trajectoire de la particule d'énergie Cameron McKenzie, 2013 page 3)

$$Z = \frac{x_f \rho_r}{F_s} \ln \left(1 + \frac{F_s}{x_f \rho_r} v_0 t \right)$$

Équation 5

$$Y = \frac{x_f \rho_r}{F_s} \ln \frac{e^{2t \sqrt{\frac{F_s}{x_f \rho_r} g + 1}}}{2e^{2t \sqrt{\frac{F_s}{x_f \rho_r} g}}}$$

Équation 6

$$X_f = 2.82 * SD^{-2.167} * \phi^{0.667} * F_s^{0.333}$$

Équation 7

$$X_t = Z * \cos(\theta)$$

Équation 8

$$Z_t = Z * \sin(\theta) - Y$$

Équation 9

Avec :

- + V_o (m/s) : vitesse de lancement de la particule ;
- + F_s : facteur forme ;
- + X_f (m) : taille de la particule ;
- + ρ_r (g/cm³) : densité de la roche ;
- + Θ (rad) : angle de projection de la particule ;
- + Φ (m) : diamètre du trou ;
- + Z (m) : distance mesurée dans la direction de projection de la particule ;
- + Y (m) : la distance de chute de la particule mesurée verticalement ;
- + Y_t (m) : ordonné de la particule ;
- + X_t (m) : abscisse de la particule.

En couplant les équations de Chernigovskii (qui calculent les trajectoires des particules en fonction de la vitesse de lancement), les équation de Lundborg (qui estiment la vitesse de lancement de la particule) avec les équations de profondeur d'enterrement décrite par Chiappetta il devient possible d'estimer les trajectoires des particules.

2.2.4. 5 Influence des paramètres d'entrée sur la projection de pierre

En se servant de **l'équation 9**, les différents paramètres que sont le diamètre du trou, la hauteur du bourrage, la densité de la roche et le facteur forme semblent avoir des impacts sur la projection de pierre. En effet la variation de l'un par rapport aux autres peut agir sur la projection maximale.

2.2.5. Conception d'un logiciel d'optimisation

Dans un souci de mieux répondre aux attentes du service technique, certaines actions ont précédé la prise de forme du logiciel.

2.2.5.1. Phase d'analyse

Etude du système existant

Cette étape a été dédiée à vérifier si au sein de la Société des Mines d'Ity, il existe déjà un système de simulation similaire ou équivalent à celui qui doit être mis en place. S'il en existe, alors quel est sa nature, comment fonctionne-t-il, quels sont ses avantages, ses limites et inconvénients ?

2.2.5.2. Préparation du logiciel

Pour concevoir cet outil, il a été indispensable de passer par une phase préparatoire préalable. Elle a consisté à exposer clairement sur papier toutes les idées ainsi que les objectifs à atteindre. Le schéma suivant a été adopté : définition des sorties et des entrées

Définition des sorties

Il s'agit d'établir une liste quasi-exhaustive de tous les résultats que le logiciel doit pouvoir faire ressortir une fois réalisé. Pour cela plusieurs échanges ont eu lieu avec le chef de la section forage et dynamitage et les autres membres dudit département afin de connaître leurs attentes vis-à-vis de la future application à réaliser.

Définition des entrées par rapport aux sorties

Ici, il s'est agi de rassembler en fonction des résultats attendus, toutes les informations qui seraient nécessaires à la réalisation du logiciel. Il s'agissait de façon grossière entre autres, des données géotechniques du massif rocheux de la fosse, les paramètres relatifs à l'explosif utilisé

2.2.5.3. Phase opérationnelle

Elle a consisté à représenter tous les éléments nécessaires et leur potentiel rôle sur support physique avec tous les détails possibles. Ensuite nous sommes passés sur le logiciel PyCharm où il a été question de générer le logiciel de simulation. Cela a consisté à créer d'abord un projet vide. Le processus de création d'un projet vide sous PyCharm se déroule comme suit :

On clique sur l'icône du logiciel (voir figure 21)



Figure 20: Icône du logiciel PyCharm

- Après le clic, on a droit à l'interface ci-dessous au niveau duquel on clique sur l'icône « **Create New project** » ;



Figure 21: Première Interface lors de l'ouverture de PyCharm

Après le clic, une nouvelle boîte de dialogue s'ouvre. Dans celle-ci, une invitation à s'inscrire s'affiche, comme l'indique l'interface suivante :

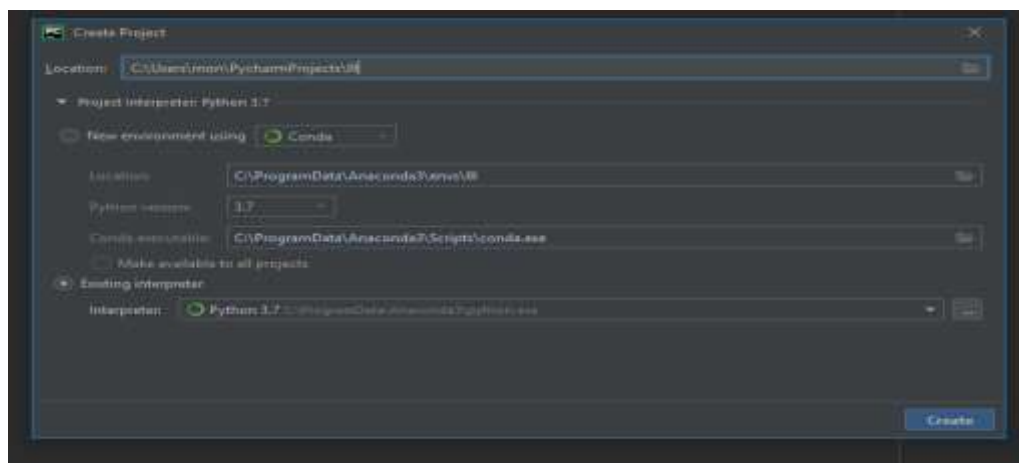


Figure 22: Boîte de dialogue de création d'un nouveau projet dans PyCharm

- **Location** : renseignez le nom et l'emplacement du projet
- **Interpréter** : quelle version de python vous voulez utiliser pour ce projet

Une fois un nouveau projet créé, vous devez avoir une fenêtre du type ci-dessous qui apparaît :



Figure 23: Interface de création d'un fichier dans PyCharm

Les différents éléments de la fenêtre sont accessibles via le menu **View > Tool Windows...**

La liste des fichiers à gauche s'appelle **Project**.

Pour créer un nouveau fichier, on sélectionne le dossier dans lequel le fichier va être créé dans la partie projet de la fenêtre (comme c'est le cas dans la figure ci-dessus). A partir de là on crée un nouveau fichier dans le menu **File > New...** puis on choisit **Python File**. Le fichier est créé dans le dossier sélectionné.

On peut l'afficher dans la fenêtre principale en un double clic sur son nom dans la partie Project.

Par exemple un fichier `hello.py` dont le code est :

```
from tkinter import *
from tkinter import ttk
import matplotlib
matplotlib.use("TkAgg")...
```

Figure 24: exemple de code python

Exécuter un fichier se fait via le menu **Run**. Il y a deux (2) commandes **Run** dans ce menu : **Run nom_fichier** et **Run...**

Le second permet de choisir le fichier à exécuter. Une fois choisi, son nom apparaît en haut à droite de la fenêtre cotée du triangle vert permettant de l'exécuter.

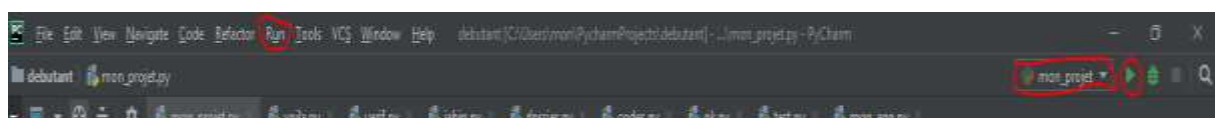


Figure 25: exécution de fichier sous PyCharm

2.2.6 Estimation des distances de projections

L'estimation des distances de projections se déroule en deux (2) grandes phases :

- ✚ la phase d'exécution des sections
- ✚ la phase de traitement des coordonnées.

✚ Phase d'exécution des sections de la fosse d'exploitation

Cette partie de la méthodologie concernant le sectionnement de la fosse repose sur la division de la fosse en plusieurs parties. Le choix de ces sections est relatif à l'emplacement de la zone à protéger. L'objectif est de savoir jusqu'à quelle distance de ces cibles une pierre peut être projetée. Des lors, l'on est à même d'établir les paramètres optimaux en vue de réduire considérablement la distance de projection de toute pierre en direction de ces cibles. L'avantage de connaître ces distances maximales de projection, est de pouvoir poursuivre les activités de reprise de minerai par exemple ou encore éviter de longs moments d'attente des populations riveraines sur les routes communautaires pendant les procédures de tir.

On procède par plusieurs étapes que sont :

- 1- Importer depuis le navigateur le fichier dtm de la fosse d'exploitation pour le déposer sur l'interface de travail ;

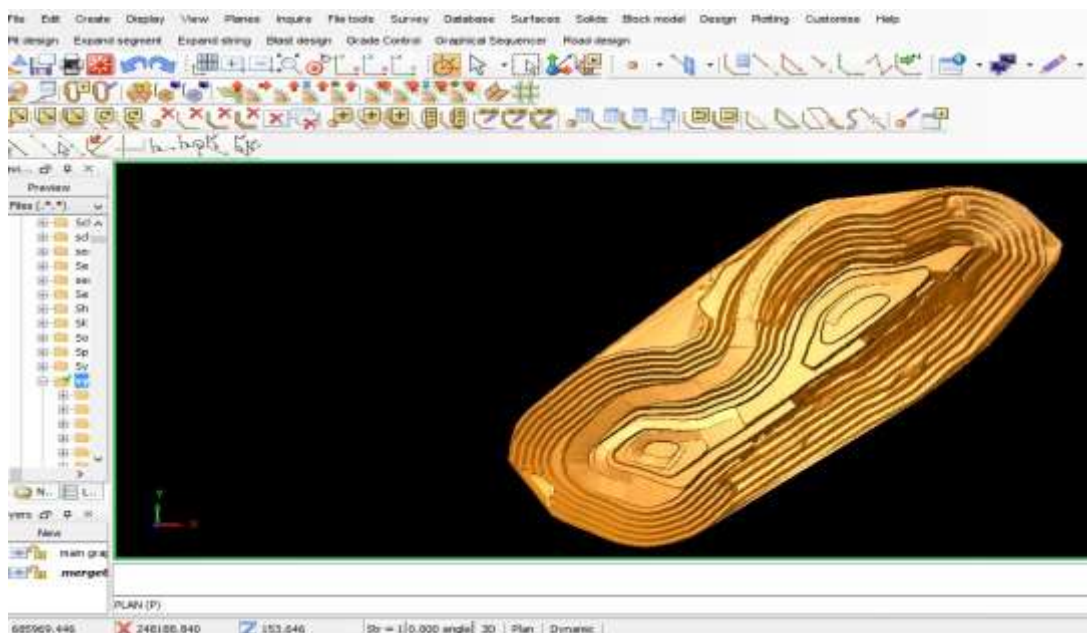


Figure 26: Affichage de la fosse d'exploitation

Dans le tableau de propriété, créer une nouvelle couche « **layer** » sur laquelle seront réalisées les différentes sections. Ensuite, dans la barre

d'outils, cliquer sur l'icône « **Define section.** » 

- Pour « **section definition method** » choisir « **graphically select line** » qui permettra de réaliser les sections par une ligne ;
- Choisir **1 m** pour « **distance forward of plane** » afin d'avoir des informations un (1) mètre avant et après la section définie ;
- Cocher uniquement la case « **Show section planes** » et enfin cliquer sur **Apply**.

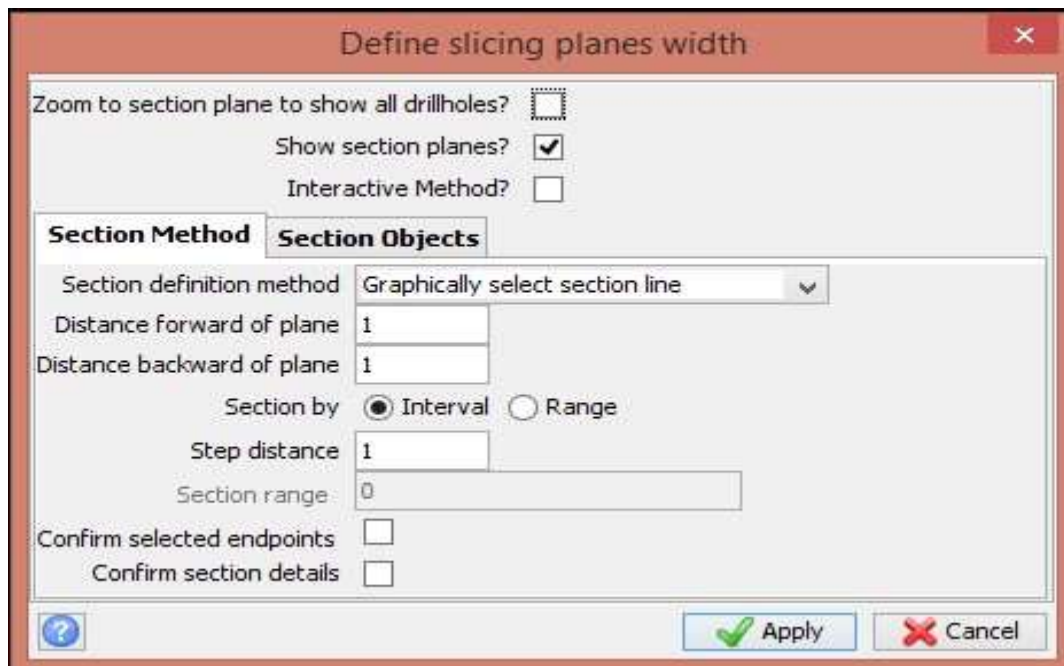


Figure 27: Fenêtre de dialogue pour la définition des paramètres de section

Après avoir validé les paramètres précédents, digitaliser avec le curseur une ligne qui regroupe la fosse d'exploitation suivant la direction dont l'on envisage faire la section.

On obtient ainsi la section comme représentée ci-dessous.

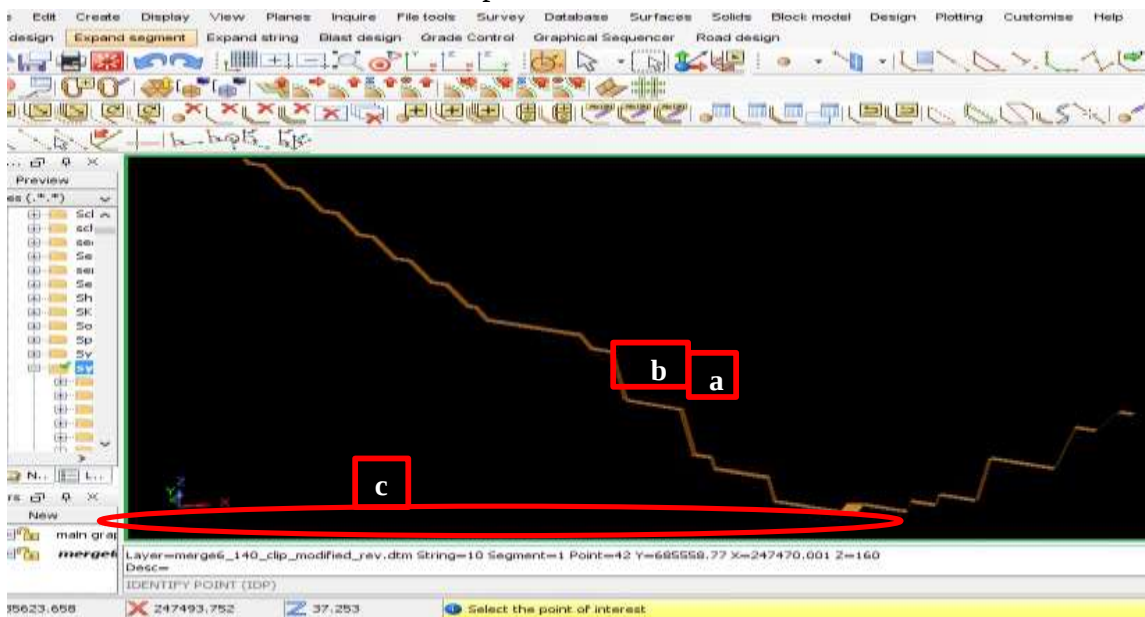


Figure 28:Section dans une direction de la fosse

Les coordonnées des différents points constituant la crête (a) et le pied (b) de chaque niveau d'exploitation (banc) sont exportées dans un fichier CSV et ces coordonnées sont obtenues grâce à l'icône « point properties » ensuite, cliquer sur la zone sur laquelle l'on souhaite avoir les coordonnées X, Y, Z du point comme le montre (c). Faire ceci depuis le niveau topographique où se déroule le tir jusqu'à la surface de la fosse.

Phase de traitement des coordonnées

Lorsque les coordonnées respectivement latitudes et les niveaux relatifs (côtes) des différents points sont exportées, plusieurs opérations se résumant aux étapes suivantes sont réalisées pour la détermination des distances de projections des pierres. Il s'agit notamment de :

-  la transformation des coordonnées X et Y ;
-  la saisie des paramètres d'entrée ;
-  la lecture des distances de projection.

a- Transformation des coordonnées de X et Y

Les coordonnées X et Y exportées de Surpac sont manipulées de sorte à pouvoir représenter fidèlement la section de la fosse dans un plan. Il s'agit ici de se mettre dans deux (2) configurations de tir à l'explosif, une première configuration où le tir se déroule au pied du gradin (Mur), qui peut être par exemple un tir de pré découpage. La seconde configuration sera un tir se déroulant au centre de la fosse, qui est par exemple un tir de production.

L'idée est de savoir dans chacune de ces deux (2) configurations de tir, la distance maximum de projection de pierres en fonction des paramètres d'entrée.

b- Saisie des paramètres d'entrée

Les paramètres d'entrée sont principalement :

-  la hauteur de bourrage préalablement définie ;
-  le diamètre du trou ;
-  la densité de l'explosif ;
-  la densité de la roche ;
-  les coordonnées de la section de la fosse.

c- Lecture des distances de projection

Un fois les coordonnées transformées et les paramètres d'entrée renseignés, la représentation graphique des deux (2) sections à lieu. Dès lors, la lecture des distances de projection peut se faire. En fonction des caractéristiques du matériau et de l'angle de projection, plusieurs trajectoires de projection sont matérialisées. La distance de projection est celle générée par la courbe (trajectoire) de projection qui arrive le plus loin possible au regard du niveau (côte) où se déroule le tir. La représentation est faite avec un degré de sécurité de confiance de 95% puis un facteur de sécurité de 200% pour les humains. Pour prendre en compte les 5% d'erreur, Une marge de 100 mètres comme distance de sécurité dans cette étude est admise, c'est-à-dire tout diamètre de trou qui générerait une projection de pierre à une distance inférieure à 100m de l'infrastructure à protéger, ne peut être utilisé pour effectuer les tirs à l'explosif pour le niveau considéré.



2.2.8. Evaluation des distances de projection : cas pratique

Après conception du logiciel de simulation, il a été question de lui soumettre les paramètres considérés en entrée et s'en est suivie une phase d'évaluation de la vraisemblance des résultats fournis par l'application conçue. Présentement à la mine d'Ity, trois fosses sont en cours d'exploitation que sont Bakatouo, Daapleu et Ity flat. Ces différentes fosses font contact avec les voies communautaires. Pendant les tirs à l'explosif dans ces fosses, les voies communautaires restent bloquées et toute activité cesse à l'intérieur de la zone d'exclusion pour au moins une heure de temps. Pour le cas étudié, la voie communautaire a été choisie dans l'optique de laisser circuler les riverains et éviter les gênes et frustrations dû au blocage des voies pendant les explosions.

CHAPITRE III : RESULTATS, INTERPRETATIONS ET RECOMMANDATIONS

3.1. Présentation des résultats des phases d'analyse et de conception

3.1.1 Etude du système existant

La phase d'analyse a permis de faire un état des lieux sur les dispositifs existant déjà à la mine d'Ity. Au sein du département forage et dynamitage, il existe un fichier Excel qui contient des formules préenregistrées qui aident pour la simulation des projections de pierres.



Figure 29: Fiche actuelle pour simulation des projections des pierres

3.1.2 Critiques de l'existant

Après l'étude du processus de simulation existant, nous avons pu dégager les critiques suivantes :

- + lors de la saisie des données, l'on peut commettre des erreurs ;
- + pour chaque nouvelle simulation, il faut saisir de nouvelles données ;
- + Mauvaise lisibilité des informations.

3.2 Résultat de l'influence des paramètres d'entrée

3.2.1 Influence de la hauteur de bourrage

Pour ce cas on fait varier la hauteur de bourrage en fixant les autres paramètres de tir. Le tableau relatif à ce résultat se situe en annexe III

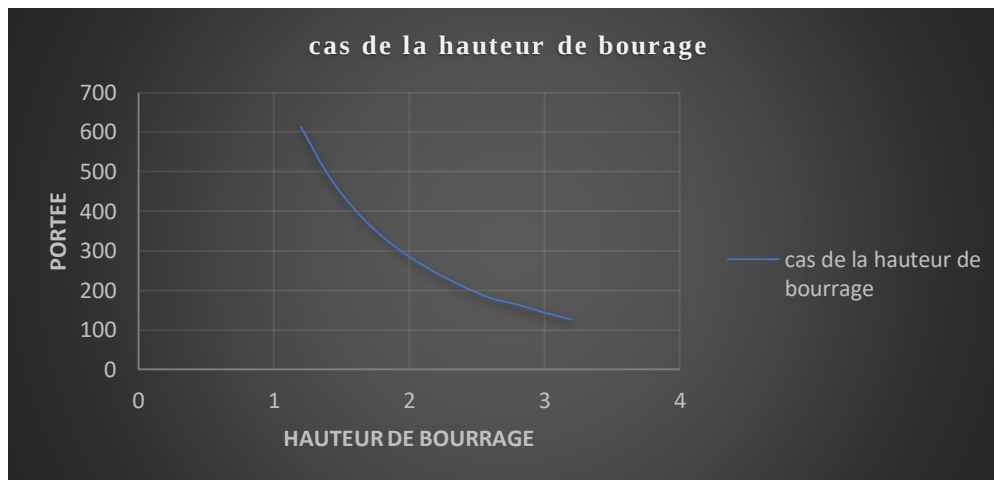


Figure 30:Influence de la hauteur de bourrage

La figure 30 représente l'influence de la hauteur de bourrage sur la projection de pierre. On remarque que plus la hauteur de bourrage est faible plus la projection est importante.

3.2.2 Influence du diamètre du trou

Les résultats pour la figure ci-dessous se trouvent en **annexe IV**

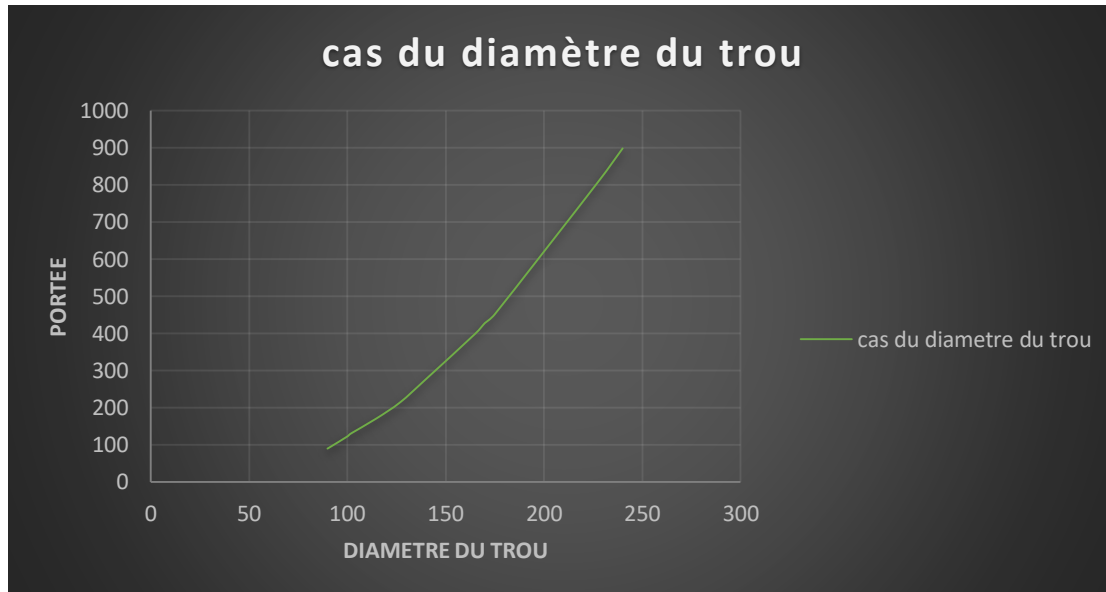


Figure 31: Influence du diamètre du trou

La figure 31 montre l'impact du diamètre du trou sur la projection de pierre, On s'aperçoit que plus le diamètre du trou est grand plus la projection est importante.

3.2.3 Influence de la densité de l'explosif

Le tableau relatif à cette figure se trouve en **annexe V**

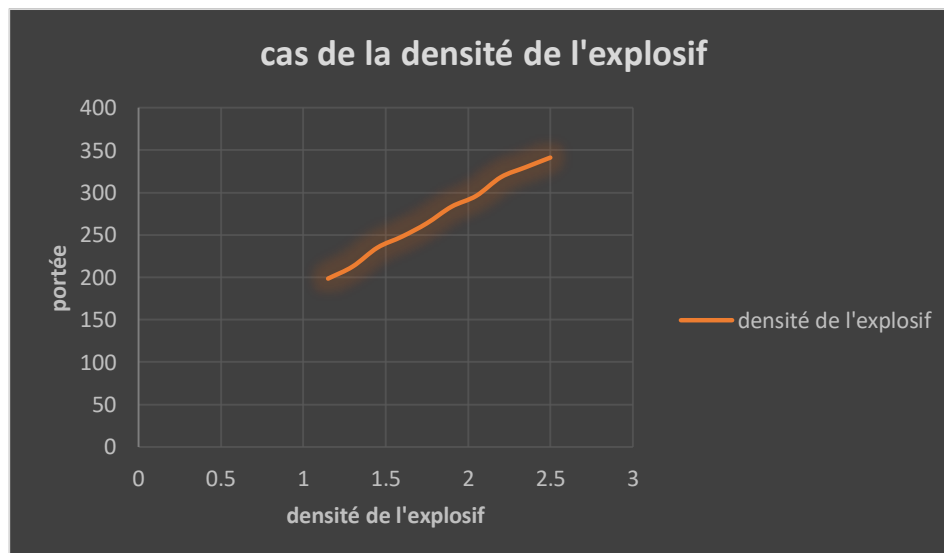


Figure 32: Influence de la densité de l'explosif

La figure 32 représente l'influence de la densité de l'explosif sur la projection de pierre. On remarque que plus la densité de l'explosif augmente plus la projection est importante.

3.2.4 Influence du facteur forme

Le tableau des valeurs pour la figure ci-dessous se situe en **annexe VI**

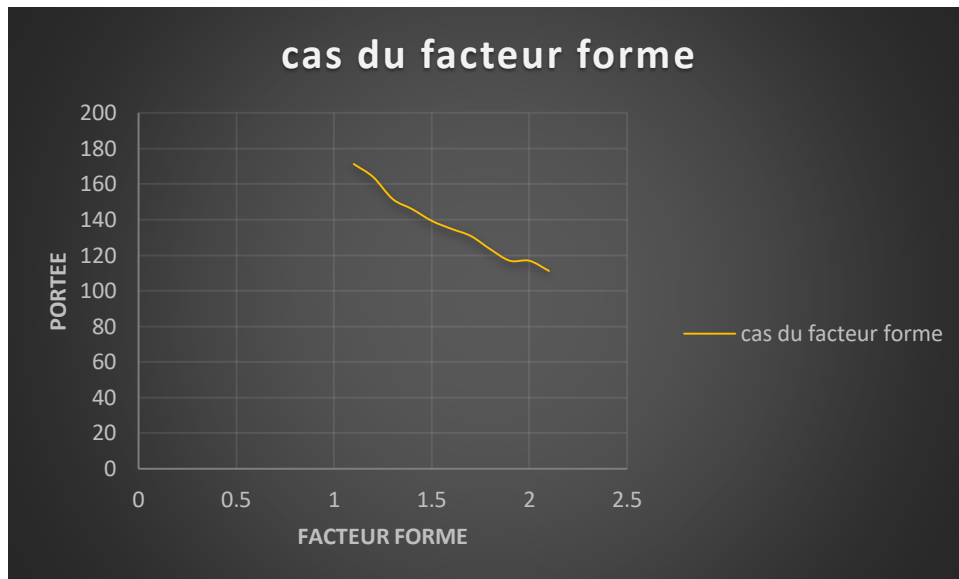


Figure 33 : influence du facteur forme

La **figure 33** met en exergue l'impact du facteur forme sur la projection. On remarque que lorsque la valeur de ce dernier augmente, celle de la portée maximale diminue.

3.2.5 influence de la densité de la roche

Le tableau des valeurs pour la figure ci-dessous se situe en annexe VII

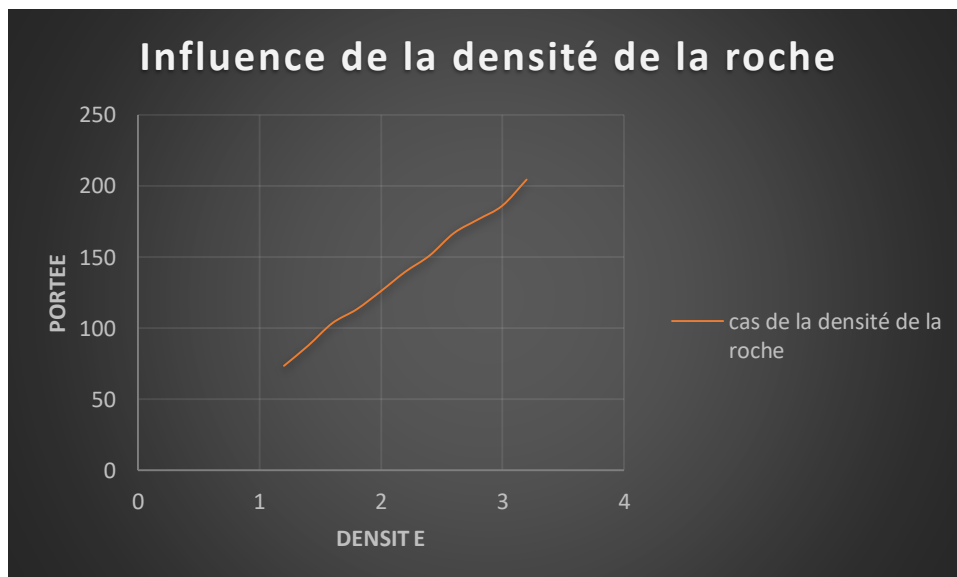


Figure 34: influence de la densité de la roche

La **figure 34** représente l'influence de la densité de la roche sur la projection de pierre. On remarque que plus la densité de la roche augmente plus la projection est importante.

3.3 Conception du logiciel

3.3.1 Préparation du logiciel

Après l'achèvement du logiciel, celui-ci devra être en mesure de fournir un certain nombre de résultats :

- + la vitesse de lancement des particules ;
- + le coefficient de confinement qui fournit un niveau de bourrage optimal ;
- + la portée maximale de projection des particules ;
- + la taille moyenne des particules.

Les données d'entrée de l'application sont celles relatives aux thématiques suivantes :

- + géométrie du carreau : le diamètre du trou, la hauteur de bourrage, les données relatives à la section effectuée sur Surpac;
- + l'explosif utilisé : sa densité ;
- + caractéristiques géotechniques de la roche : sa densité .

Dans le **tableau** ci-dessous figure le résultat de calcul des paramètres de tir à la mine d'Ity:

Tableau II : calcul des paramètres de tir

Diamètre du trou	Ø(m)	0,115
Intervalle de la hauteur de bourrage (m)	20	2,3
	30	3,45
Quantité d'explosif par mètre	q(kg/m)	11.94
Densité d'explosif	D(kg/cm ³)	1.15
Longueur d'explosif dans 10×Ø	L(m)	1,15
Quantité d'explosif sur 10×Ø (W)	W(kg)	13,73
Distance de la surface au centre de W	D(m)	3,07
Profondeur d'enfouissement	SD (m/Kg ^{1/3})	1,29

L'interface graphique du logiciel d'optimisation conçu « **Sim_Master** » se présente comme suit

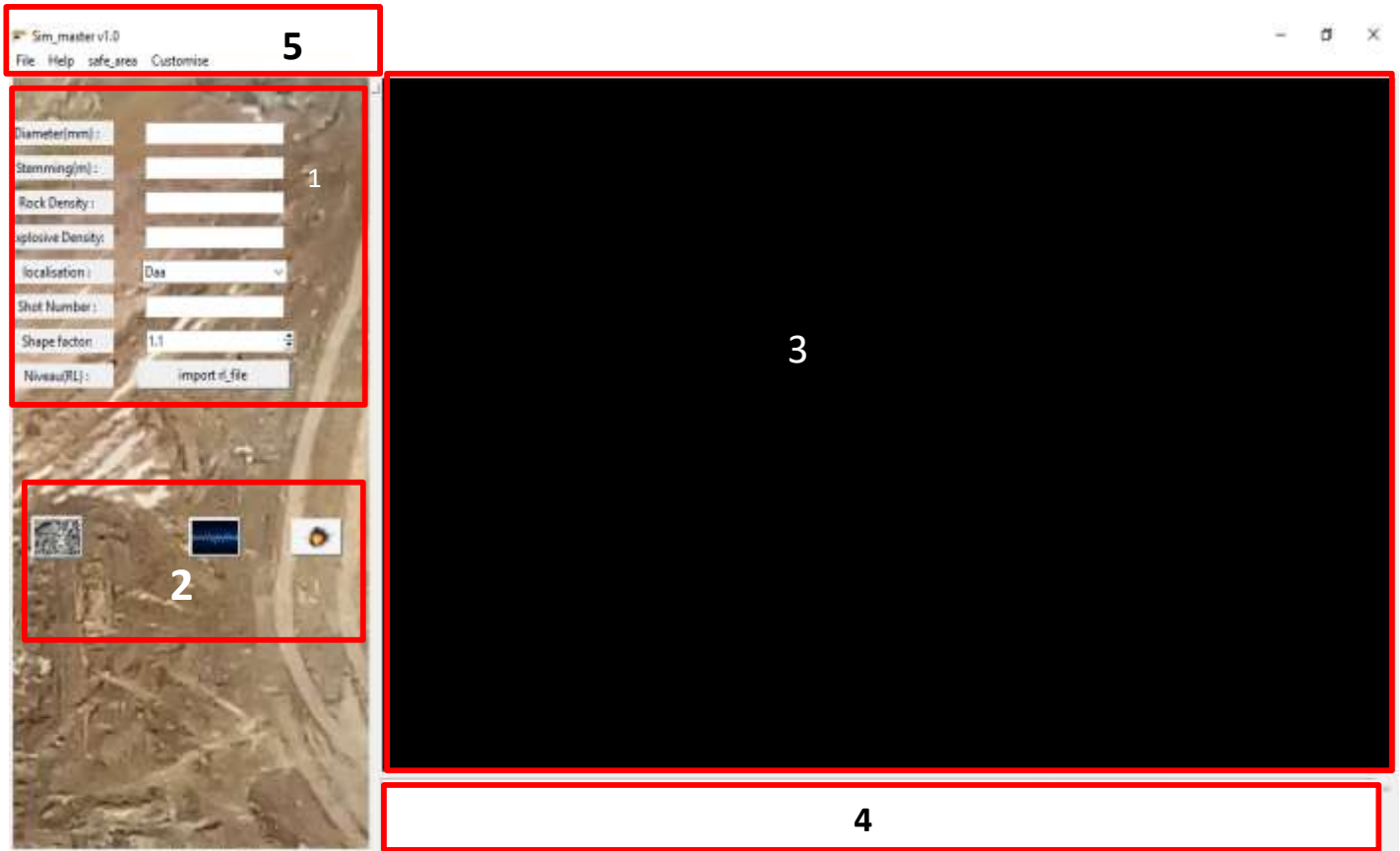


Figure 35: Interface de Sim_master

- 1-zone de saisie des paramètres d'entrée
- 2- Groupes de boutons : les boutons permettant d'exécuter les différentes tâches
- 3- Graphique : c'est l'espace de travail
- 4- Fenêtre de message : affiche les informations et les messages d'erreurs
- 5- Barre de menu : menu de texte situé au sommet de la fenêtre principale.

3.4 Algorithme de simulation

L'algorithme utilisé a été implémentée à la machine via un code qui a été écrit avec le langage de programmation python. La description du programme de simulation est la suivante :

En arrière-plan, nous avons deux classes utilisées, une classe application et une classe Courbe.

Classe application : chargé de la mise en place de l'affichage (étiquette, bouton, zones de saisie, zones de dessins...)

Classe courbe : chargé des différents calculs (vitesse de projection, porté, flèche, tracé des graphes...).

Sur l'interface principale :

- ✚ On introduit à l'intérieur du programme les paramètres d'entrées ;
- ✚ on fait la section de la fosse d'exploitation à l'aide du logiciel Surpac ;
- ✚ on importe le fichier des coordonnées de la section au format CSV au sein du logiciel conçu ;
- ✚ on obtient la représentations des différentes courbes de projections.

3.5 Courbes (trajectoires) de projections : cas pratique

Après conception du logiciel de simulation, il a été question de lui soumettre les paramètres sur la base desquels sont réalisés les tirs à la mine d'Ity.. Trois sections ont été réalisés dont les sections A de la fosse Daapleu, B pour la fosse de Ity flat, et C pour celle de Bakatouo prise chacune dans la direction de la section de la voie communautaire la plus proche de la fosse. L'objectif est de savoir jusqu'à quelle distance de cette cible une pierre peut être projetée. La distance séparant les sections A, B et C de la voie communautaire sont les suivantes :

Tableau III : Emplacement des différentes fosses par rapport à la voie communautaire.

Section	Pit	Distance (m)
A	Daapleu	256.75
B	Flat	330.58
C	Bakatouo	273.56

La figure ci-après (**figure 36**) représente l'emplacement des différentes fosses par rapport à la voie communautaire.

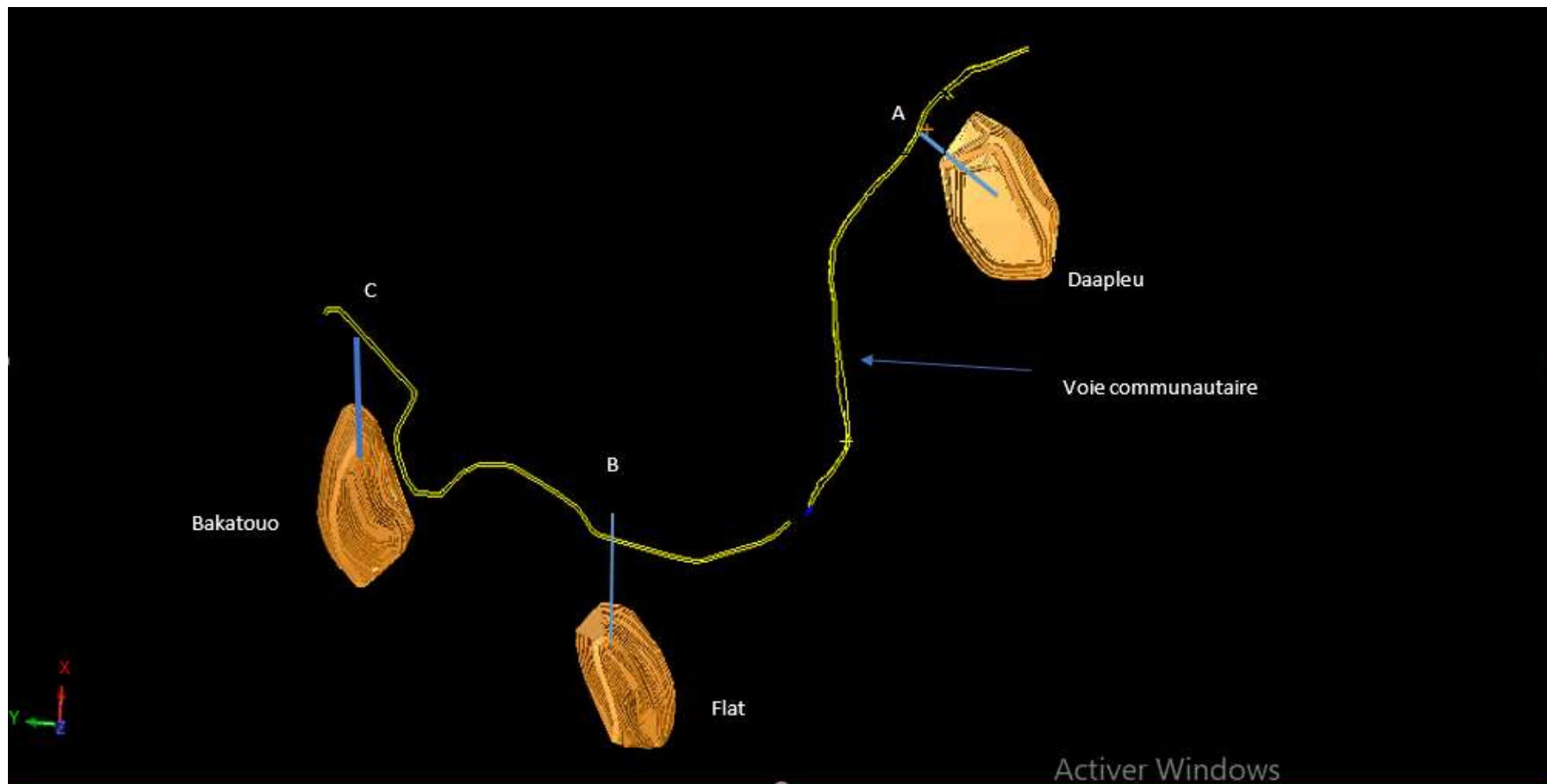


Figure 36:Emplacement des différentes fosses par rapport à la voie communautaire

Pour chaque type de matériau et pour chaque section, nous présenterons les distances de projections en fonction du niveau relatif Z.

a. Cas de La fosse de Daapleu

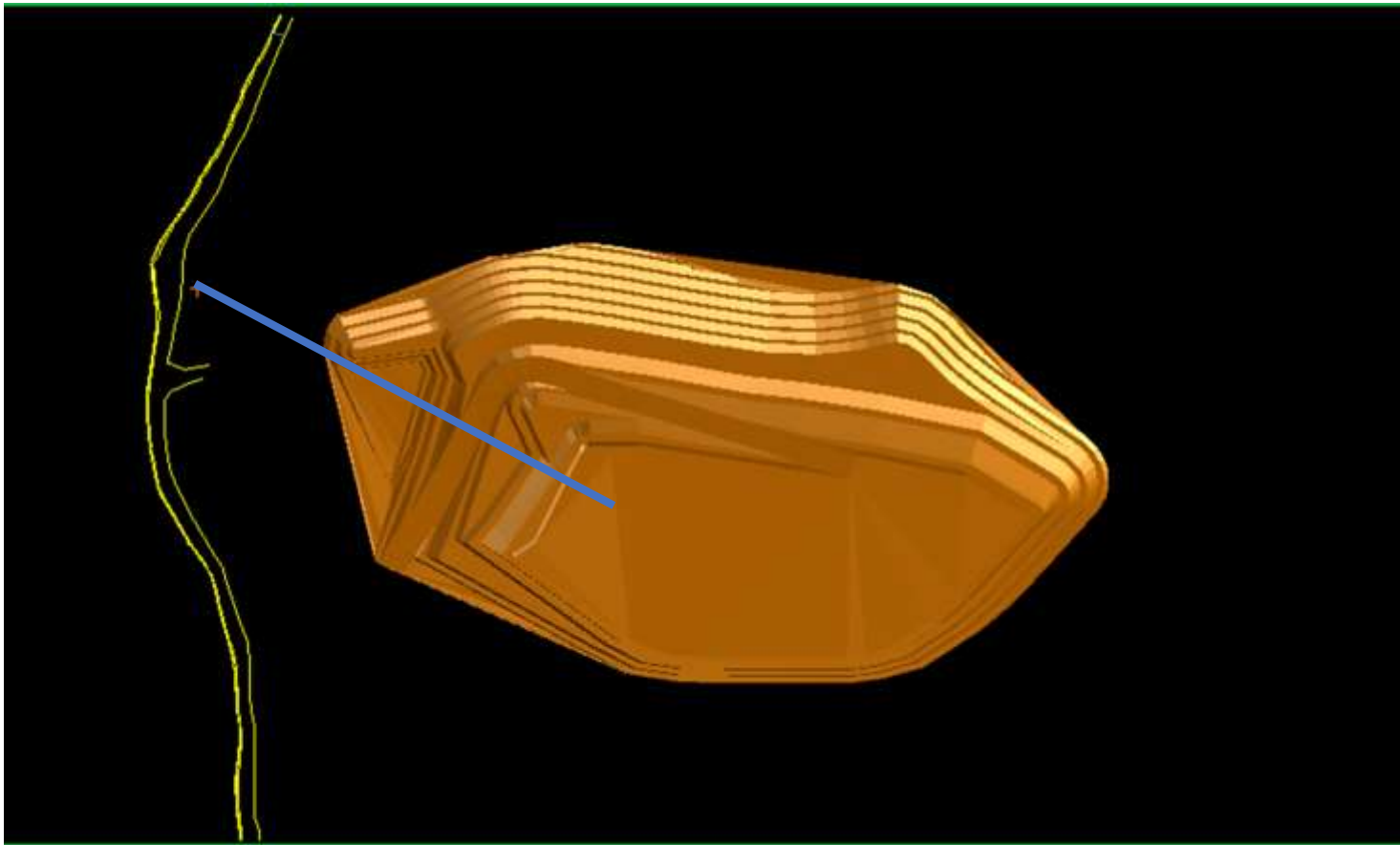


Figure 37: Direction de la section A

❖ Daapleu cas de la roche de transition au niveau relatif :240 m

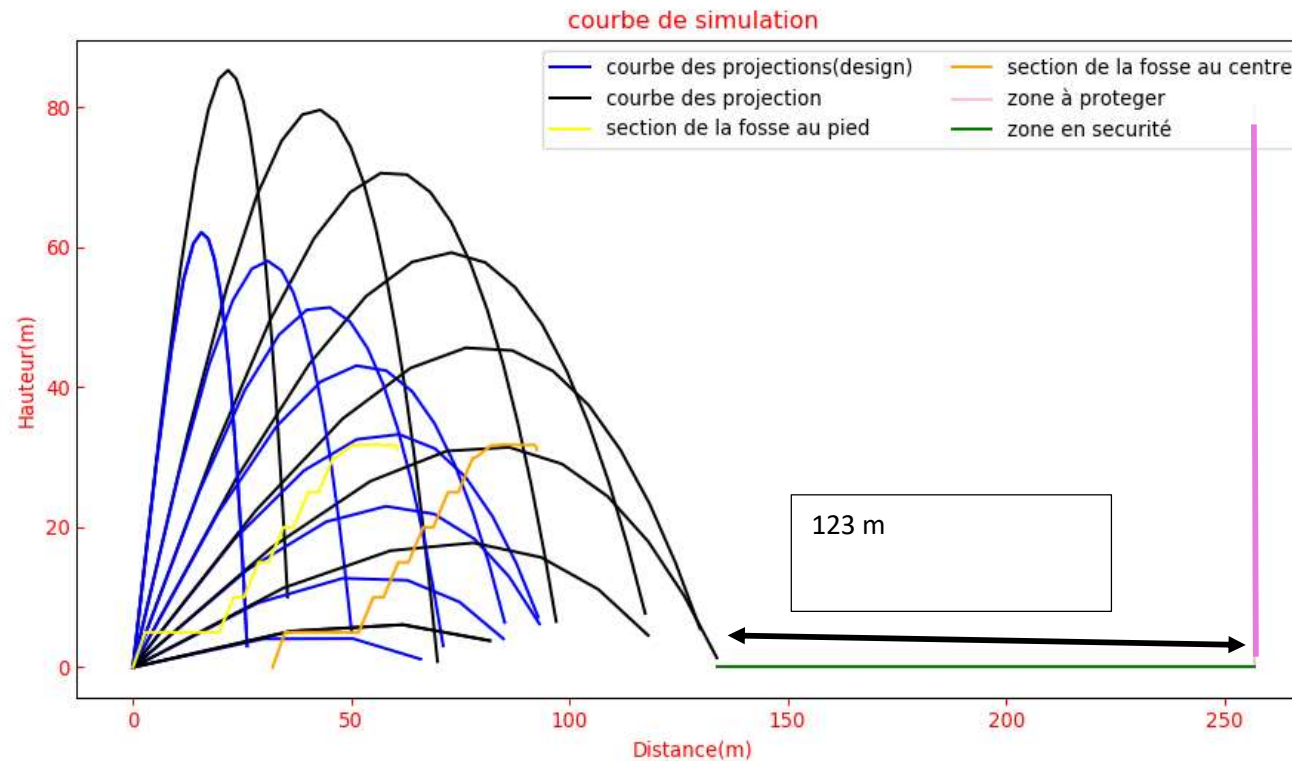


Figure 38:Section A roche transitionnelle projections au niveau relative 240 m

❖ Daapleu cas de la roche saine au niveau relatif :240 m

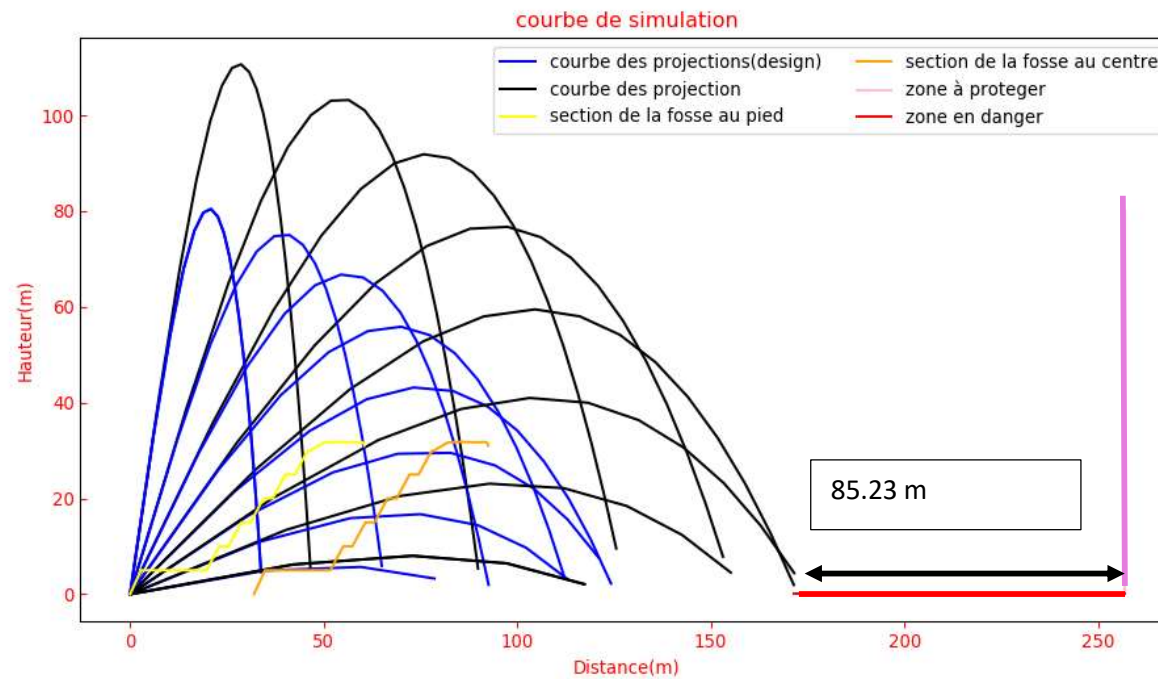


Figure 39: Section A roche saine, projections au niveau relative 240 m

Les tirs à l'explosif génèrent respectivement des jets de pierres jusqu'à 133.75m pour la roche transitionnelle et 172.52m pour la roche saine. Dans les deux cas de tirs à l'explosif toutes les projections tombent à l'extérieur de la fosse. La différence de distance entre la projection maximale et la voie communautaire est de 123 m pour la roche de transition et de 85.23 m pour la roche saine.

La marge de sécurité entre la plus grande portée de projectile et l'infrastructure à protéger devant être supérieure à 100 m, il ressort que seuls les tirs dans la roche transitionnelle respectent la marge espérée. Un tir avec un diamètre de trou de 115mm n'est donc pas recommandé pour le niveau relatif $Z = 240\text{m}$ dans la roche saine si l'on doit laisser libre circulation aux populations sur la voie communautaire.

b. Cas de la fosse Flat

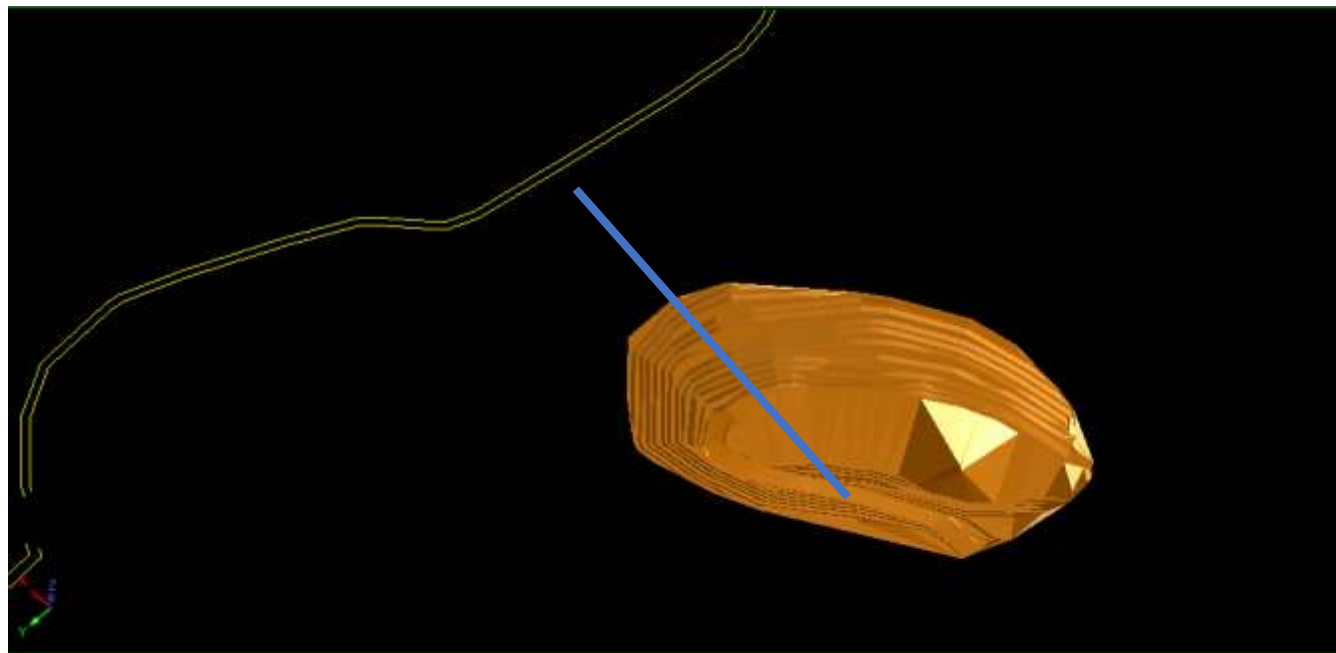


Figure 40: Direction de la section B

❖ Ity flat cas de la roche de transition au niveau relatif :220 m

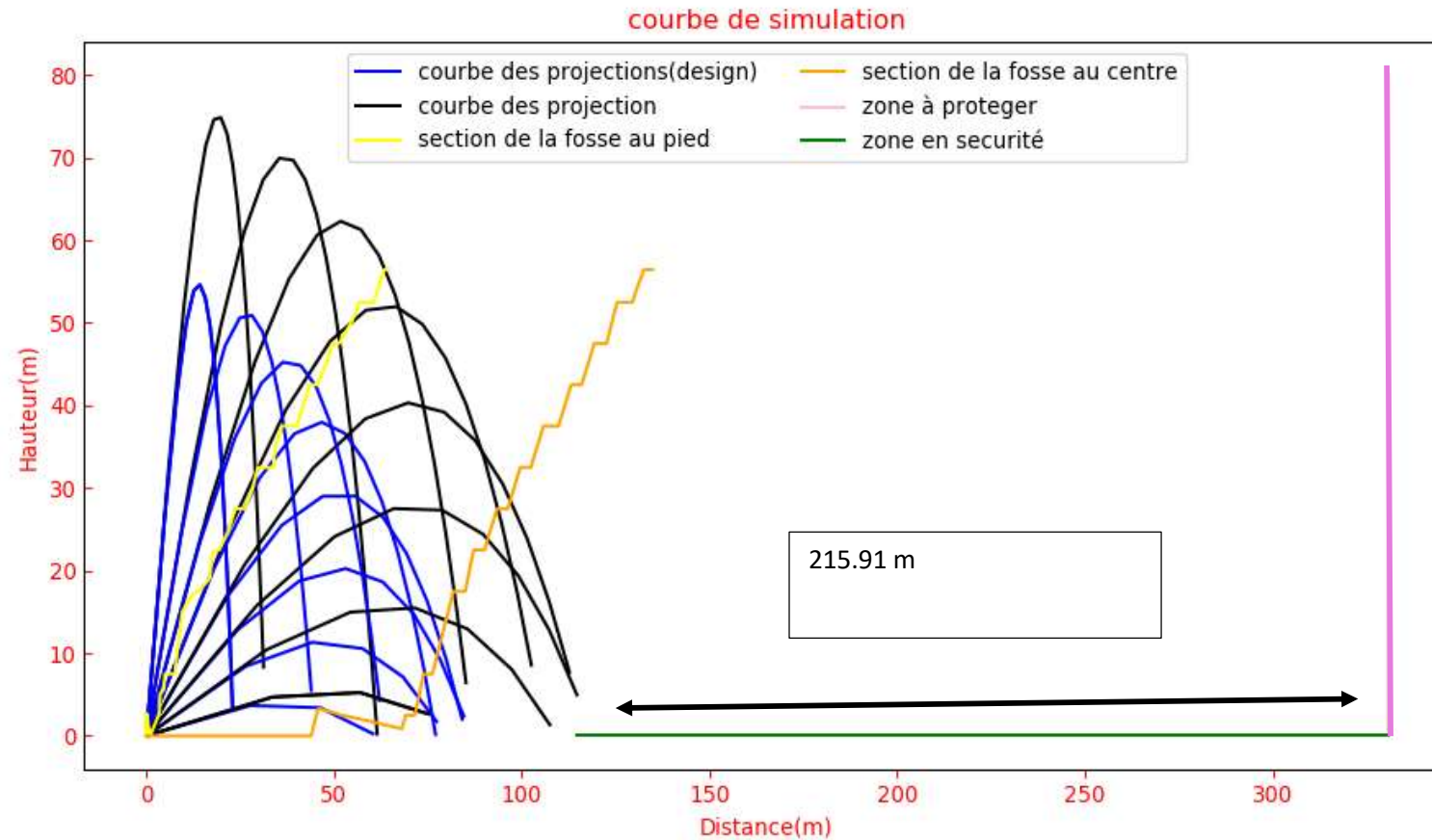


Figure 41: Section B roche transitionnelle, projections au niveau relative 220 m

❖ Ity flat cas de la roche saine au niveau relatif :220 m

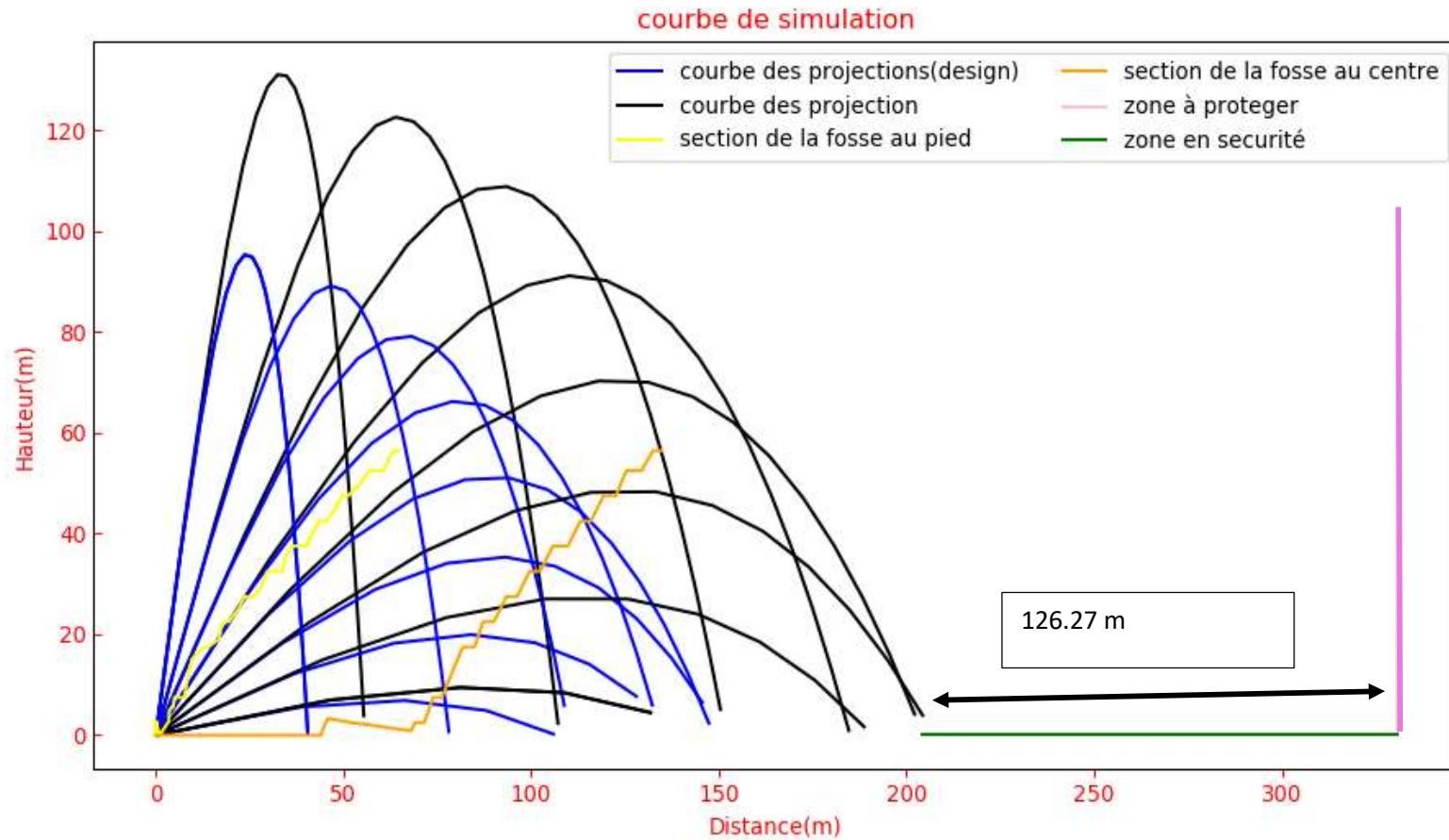


Figure 42 : Section B roche saine, projections au niveau relative 220 m



Pour un tir à l'explosif avec un diamètre de 115mm, on a une portée maximale de 114.67 m dans la roche de transition et une portée maximale de 204.31m dans la roche saine. La différence de distance entre la portée maximale et la voie communautaire est de 215.91m pour un tir dans la roche de transition et de 126.27 m pour la roche saine. Dans les deux cas, la marge de sécurité de 100 m est respectée. Donc un tir à l'explosif avec un taillant 115mm au niveau 220m est recommandé dans la roche de transition comme dans la roche saine.

.

c. Cas de la fosse de Bakatouo

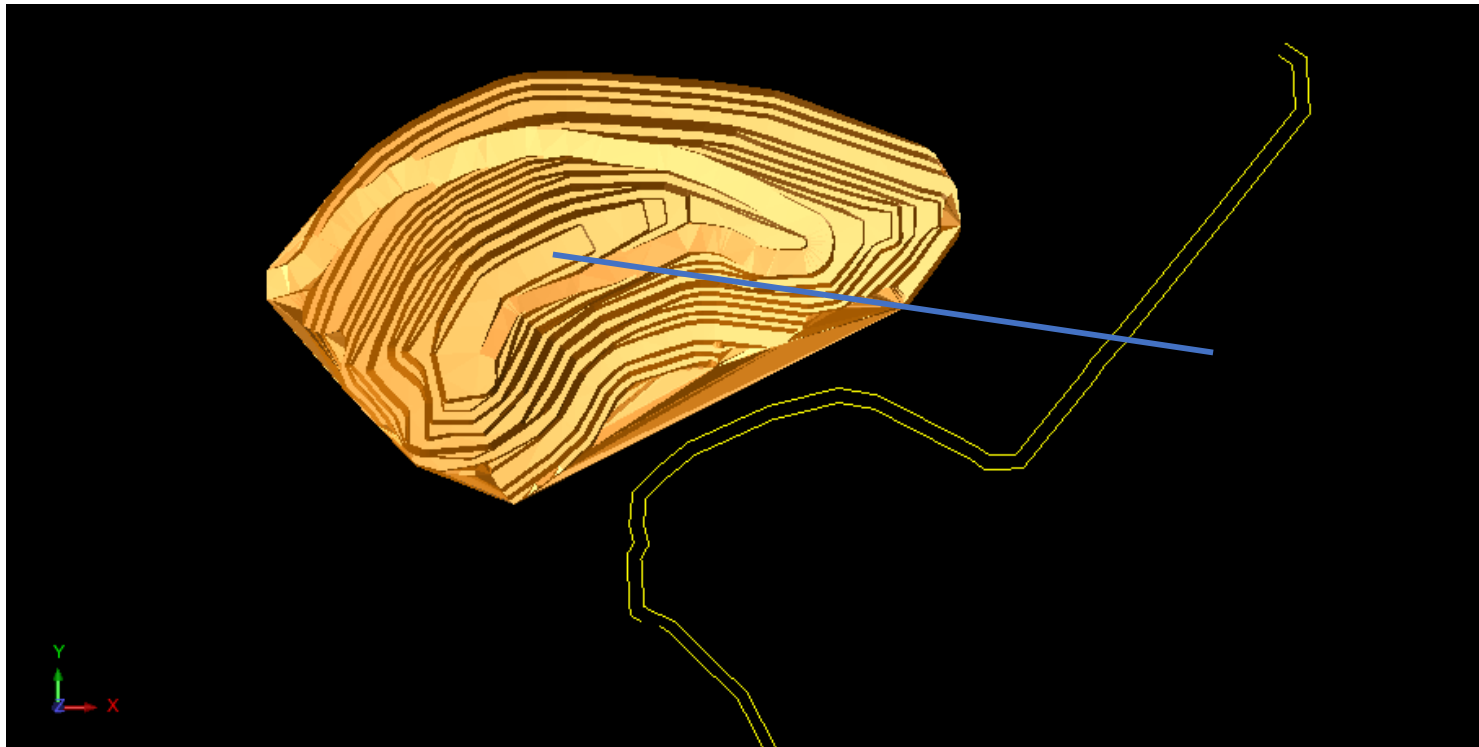


Figure 43: Direction de la section C

❖ **Bakatouo : cas de la roche de transition au niveau relatif :230 m**

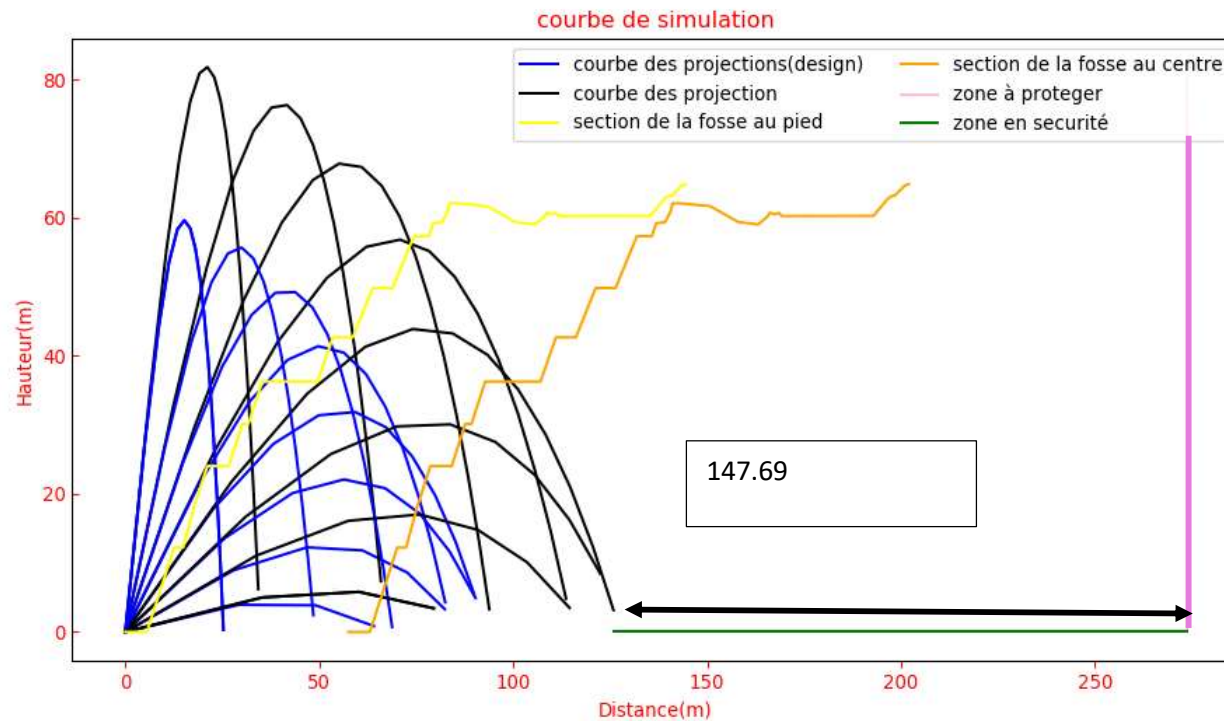


Figure 44: Section C roche transitionnelle, projections au niveau relative 230 m

❖ Bakatouo : cas de la roche de saine au niveau relatif :230 m

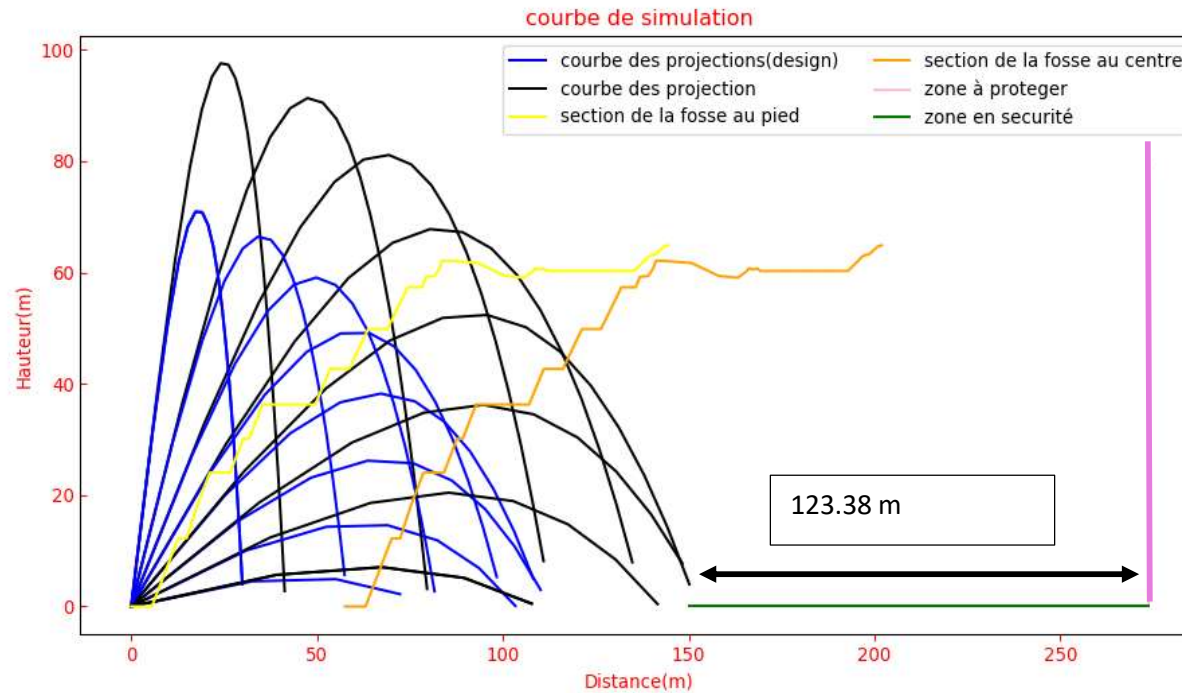


Figure 45: Section C roche saine, projections au niveau relative 230 m



Pour un tir à l'explosif avec un diamètre de 115mm, on a une portée maximale de 125.87 m dans la roche de transition et une portée maximale de 150.18 m dans la roche saine. La différence de distance entre la portée maximale et la voie communautaire est de 147.69 m pour un tir dans la roche de transition et de 123.38 m pour la roche saine. Dans les deux (2) cas, la marge de sécurité de 100 m est respectée. Donc un tir à l'explosif avec un taillant 115mm au niveau 230m est recommandé dans la roche de transition comme dans la roche saine.

.

3.6 Interprétations des résultats

3.6.1 Hauteur de bourrage

Le calcul du SD qui a consisté à vérifier si la hauteur de bourrage de l'entreprise est optimale a donné une valeur de SD comprise entre 0,9 et 1,4. Cette hauteur de bourrage est donc optimale.

3.6.2 Projections

Pour cette étude, l'on vérifiera si la réduction du rayon de sécurité de 500m à un rayon de 300m, est faisable dans les différentes fosses de la mine d'Ity.

Les tableaux ci-dessous sont le récapitulatif des résultats des distances séparant la projection maximale de la voie communautaire.

Section A : Niveau relative 240 m

Tableau IV : Récapitulatif des distances de projection de la section A

	Portée maximale(m)	Différence de distance avec la voie communautaire(m)	Etat de la zone
Roche transitionnelle	133.75	123	En sécurité
Roche saine	171.52	85.23	En danger

Dans l'optique de réduire le rayon de sécurité à de 500 m à 300m tout en se basant sur les distances de maximales des tableaux récapitulatifs, il ressort que, pour des tirs de mine effectués au pied du mur et au centre de la **section A dans la fosse de Daapleu**:

- le rayon de sécurité de 300m est applicable à tous les niveaux ;
- en se basant sur les distances entre la voie communautaire et les points d'impact, l'on peut dire que la voie communautaire sera impactée par un tir effectué dans la roche saine .

+ Section B : Niveau relative 220 m

Tableau V : Récapitulatif des distances de projection de la section B

	Portée maximale(m)	Différence de distance avec la voie communautaire(m)	Etat de la zone
Roche transitionnelle	114.67	204.31	En sécurité
Roche saine	204.31	126.27	En sécurité

Au niveau de la section B il ressort que :

- le rayon de 300m est applicable à tous les niveaux de tir considérés étant donné que les projections maximales ne peuvent aller au-delà de cette distance ;
- la voie communautaire se trouvant au-delà du rayon de sûreté de 100m ne sera pas impactée.

Tableau VI : Récapitulatif des distances de projection de la section C

	Portée maximale(m)	Différence de distance avec la voie communautaire(m)	Etat de la zone
Roche transitionnelle	125.87	147.69	En sécurité
Roche saine	150.18	123.38	En sécurité

Pour la section C, il ressort que :

- la réduction du rayon de sécurité à une distance de 300m est faisable pour tous les tirs.
- Concernant les infrastructures, la voie riveraine ne sera pas bloquée pour tous les tirs dans la roche de transition et dans la roche saine car elle est située au-delà du rayon de sûreté.

3.7 Recommendations

Dans le but de réduire les risques de projection, l'on suggère de :

- + adapter la quantité d'explosif à charger au métrage réel foré après vérification ;
- + s'assurer que la charge réelle est conforme à celle planifiée dans le cas où la profondeur du trou est respectée ;
- + éviter les ajouts d'explosif en présence de fracture en utilisant des gaines ;
- + respecter la nature et la taille du matériau de bourrage recommandé pour un meilleur niveau de confinement de l'énergie, car des matériaux de taille plus grande pourraient occasionner les pertes d'énergie et ceux de plus petite taille ont du mal à contenir l'énergie lors de l'explosion ;
- + respecter la densité de l'explosif utilisé lors des chargements.

CONCLUSION

Les projections de pierres lors des tirs à l'explosif présentent beaucoup de risques pour les riverains, les infrastructures et les équipements. Pour cela, la voie communautaire reste bloquée causant ainsi des mécontentements des riverains et le ralentissement des activités de production à la mine d'Ity. L'objectif de cette étude était de mettre en place un outil d'aide à la décision dans la conception des tirs avec un niveau optimal de sécurité. Pour y parvenir, nous avons procédé, dans un premier temps, à l'identification des paramètres de tirs qui ont servi de paramètres d'entrée au logiciel conçu.

Par la suite, nous avons procédé au choix d'un modèle de simulation, ce qui a conduit au développement de l'algorithme. De cette méthodologie, il est ressorti que les projections de pierres dépendent de divers paramètres, notamment le diamètre du trou, la longueur de la charge et la densité de l'explosif. Une fois généré, la distance maximale de projection des fragments dépend de la taille des fragments, de la densité du matériau et du facteur de forme. Au terme de cette étude, des simulations ont été effectuées sur les trois différentes fosses en cours d'exploitation à la mine d'Ity. Le modèle de simulation présenté semble fournir des distances de projections assez réalistes en tenant compte des différents paramètres de tir. Cependant certains problèmes importants n'ont pas été pris en compte dans le modèle, notamment l'emplacement de l'amorce dans le trou et l'effet de l'eau dans le trou.

Il est ressorti que la réduction du rayon de 300 m en lieu place du 500 m est applicable pour tous les tirs. Toutefois, l'application de ce rayon nécessite dans certains cas le blocage de la voie communautaire. Afin de pallier ce problème communautaire, l'on a suggéré de respecter le niveau de minage ainsi que la densité de l'explosif, adapter la quantité de l'explosif en tenant compte des données de l'assurance qualité et du contrôle qualité, s'assurer que la charge réelle est conforme à celle planifiée et respecter la nature et taille du matériau de bourrage recommandée.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A. Roux et Al. (2016). *Etude de faisabilité, ITY CIL PROJECT NATIONAL INSTRUMENT 43-101* TECHNICAL REPORT, 502p.

BESSOLES (1977), *Géologie de l'Afrique de l'Ouest. Le craton Ouest Africain*. Mémoire B.R.G.M Paris. N° 88, 402p.

BONY G. (2015), *Evaluation et optimisation de la sélectivité dans l'exploitation des minerais d'ITY*, mémoire de fin d'étude, 67p.

Camil, J. (1984). *Pétrographie, chronologie des ensembles archéens et formations associées de la région de Man (Côte d'Ivoire)*. Implications pour l'histoire géologique du craton ouest-africain. Thèse de Doctorat ès Sci. Univ. d'Abidjan, Côte d'Ivoire, 306 p.

Cameron K. McKenzie, Blastotechnology, Australia. (2009). *Flyrock Range & Fragment Size Prediction*. International Society of Explosives Engineers, 17p.

DOSSO. (2017). *Géologie simplifiée de la zone d'Ity*, SMI-2017-Rapport de fin de campagne Daapleu, 125p.

KOUAME Armel. (2019), *Approval*, 1p.

KOUMELAN, (1996), *Géochronologie et géochimie des formations Archéennes et protérozoïque. de la dorsale de Man en Côte d'Ivoire. Implication pour la transition Archéenne protérozoïque*.

N'GORAN Venance. (2018). *Blast Hole Diagram, Bakatouo 300m Blast Clearance_Flyrock Assessment_Intern.*(Non publié)

N'GORAN Venance. (2017). *Flyrock – Probability in Design, Bonikro - Hiré - Akissi So 250m Pit-Flyrock Projection Distance Estimates*. (Non publié)

PAPON, A. (1973). *Géologie et minéralisation du Sud-Ouest de la Côte d'Ivoire*. Mem. Bur. Res. Géol. Paris, N° 80, 284 p.

Tagini(1971). *Esquisse structurale de la Côte d'Ivoire*. Thèse de doctorat de l'Université de Lausanne et publication SODEMI, 302p.

THIAM Mohamed, (2017). *Etude prévisionnelle des projections de pierres pendant les tirs à l'explosif à la mine d'Hiré : Cas de la fosse d'exploitation Akissi-so 250m*. Mémoire de Fin d'Etude, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny/L'Ecole Supérieure des Mines et Géologie (ESMG-HB/ESMG), Yamoussoukro-Côte d'Ivoire, 69p. (Non publié)



<https://docs.python.org/fr/3.6/installing/index.html> (installation de modules python)

<https://www.osti.gov/biblio/433677> (Prévision et contrôle du flyrock lors du dynamitage de mines à ciel ouvert)

<https://realpython.com/> (tutoriel python)

<https://blastiqsupport.zendesk.com/hc/en-us/articles/360018819894-Hole-state-display-Next-Generation-BlastIQ-> (Un exemple de calcul de la profondeur d'échelle jusqu'à l'enterrement)

ANNEXES

Annexe I : Equipements de Protection Individuelle (EPI).....	II
Annexe I : Equipements de Protection Individuelle (EPI).....	II
Annexe II : fiche de paramètre de tir à la mine d'Ity	II
Annexe III : variation de la projection maximale en fonction de la variation de la hauteur de bourrage	III
Annexe IV : variation de la projection maximale en fonction de la variation du diamètre du trou.....	III
Annexe V : variation de la projection maximale en fonction de la variation de la densité de l'explosif.	III
Annexe VI : variation de la projection maximale en fonction de la variation du facteur de forme des fragments.	IV
Annexe VII : variation de la projection maximale en fonction de la variation de la densité de la roche.....	IV
Annexe IX : Amorçage	IV
Annexe X : Matériau de bourrage.....	v
Annexe XI : section A.....	v
Annexe XII : section B	vi
Annexe XIII : section C.....	vi

Annexe I : Equipements de Protection Individuelle (EPI)



Annexe II : fiche de paramètre de tir à la mine d'Ity

ENDEAVOUR MINING SMI		ITY CIL - OPEN PITS - DESIGN PARAMETERS 5m							
		Production Blasts				Trim Blast - 5m Bench			
		Softer / Structured Ore	Hard Ore	Softer / Structured Waste	Block Massive Waste	Pre-Shear	Buffer	Berm	
		SO	HO	SW	HW				WT
Standards									
Bench	m	8	8	8	8				
Burden (Toe offset)	m	3.2	3	3.3	3.2		1.3		Prod design
Spacing	m	3.7	3.5	3.8	3.7	1.5	3		Prod design
Sub-Drill	m	1	1	1	1				
Diameter	mm	115	115	115	115	102	115		115
Hole Angle	deg	90	90	90	90	95	90		90
Uncharged Collar	m	2.8	2.5	2.7	2.5	Air deck	2.6		Prod Design
Stem Length	m	2.8	2.5	2.7	2.5	Air deck	2.6		Prod Design
Hole length	m	6.0	6.0	6.0	6.0	4.1	6.0		6.0
Explosives	Type	Innovex 100	Innovex 100	Innovex 100	Innovex 100	Innovex 100	Innovex 100	Innovex 100	
	Density	1.15 g/cc	1.15 g/cc	1.15 g/cc	1.15 g/cc	10kg	1.15 g/cc	1.15 g/cc	
Powder Factor	kg/tbcm	0.65	0.80	0.63	0.71				
	BH.B (min. 2)	2	2	2	2				
Fragmentation	S-B (1,15 equl.)	1.16	1.17	1.15	1.16				
	SCB (0.02 to 1.0)	1.37	1.28	1.37	1.37				
Timing	Timing - Burden	65ms	65ms	42ms	42ms	17ms to berm	55ms to berm		65ms
	Timing - Interhole	25ms	25ms	25ms	25ms	17ms / 3 hole	25ms		Prod des:
	Burn per linear m drilled	9.8	8.8	10.5	9.5				

Annexe III : variation de la projection maximale en fonction de la variation de la hauteur de bourrage

Hauteur de bourrage	3.2	3	2.8	2.6	2.4	2.2	2	1.8	1.6	1.4	1.2
Porté maximale	126.19	143.39	163.51	180.27	209.16	243.51	284.79	335.5	402.25	490.98	611.29

Annexe IV : variation de la projection maximale en fonction de la variation du diamètre du trou

Diamètre du trou	90	100	102	115	127	140	165	170	175	227	240
Porté maximale	89.92	122.41	130.93	171.52	214.8	276.72	398.72	427.94	451.27	803.96	897.87

Annexe V : variation de la projection maximale en fonction de la variation de la densité de l'explosif.

Densité de l'explosif	1.15	1.3	1.45	1.6	1.75	1.9	2.05	2.2	2.35	2.5	2.65
Porté maximale	204.31	185.99	176.32	166.68	150.93	139.56	126.01	113.22	102.54	87.72	73.47

Annexe VI : variation de la projection maximale en fonction de la variation du facteur de forme des fragments.

Facteur forme	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2	2.1
Porté maximale	171.52	164.13	151.68	145.97	139.94	134.86	130.78	127.27	116.78	113.8	111.03

Annexe VII : variation de la projection maximale en fonction de la variation de la densité de la roche.

Densité de la roche	3.2	3	2.8	2.6	2.4	2.2	2	1.8	1.6	1.4	1.2
Porté maximale	204.31	185.99	176.32	166.68	150.93	139.56	126.01	113.22	102.54	87.72	73.47

Annexe IX : Amorçage



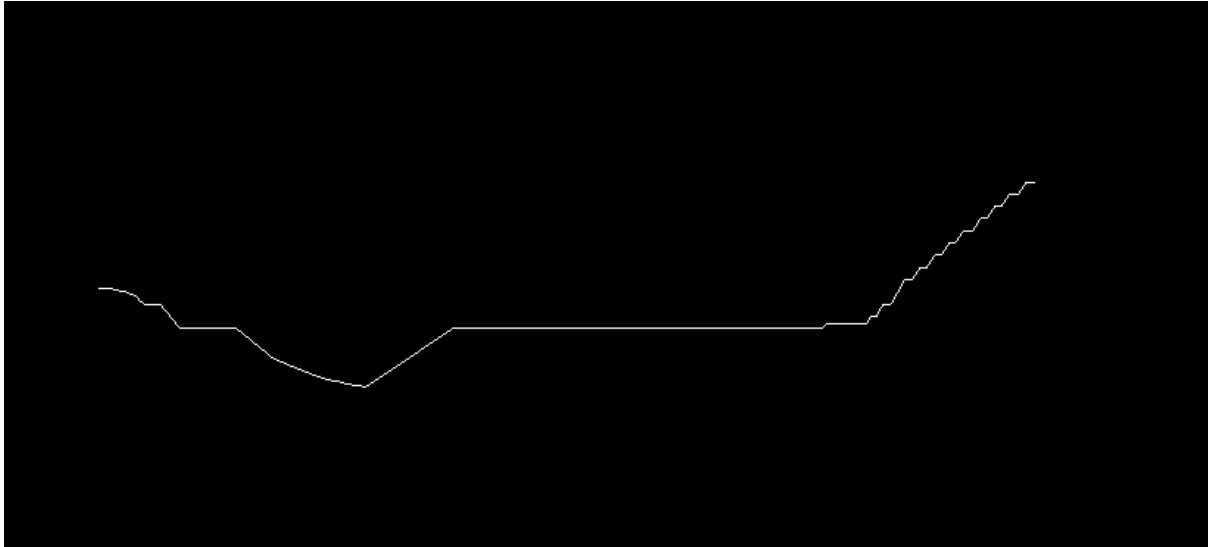
Annexe X: Matériau de bourrage



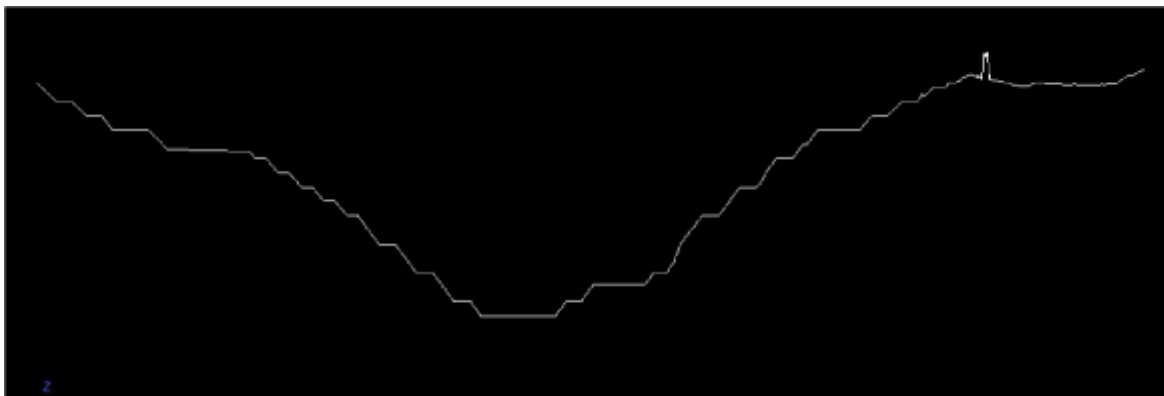
Annexe XI : section A



Annexe XII : section B



Annexe XIII : section C



: