

Caractérisation géochimique Yaouré
Roches stériles, matériaux de construction et résidus
Projet aurifère Yaouré – Côte d'Ivoire
Avril 2015



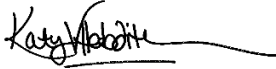

Soumis à

Amara Mining PLC

Soumis par

Amec Foster Wheeler Earth & Environmental UK Ltd.

FORMULAIRE DE RAPPORT

| | | |
|---------------------------------------|--|--|
| Nom du client | Amara Mining PLC | |
| Nom du projet | Gestion des tests de Yaouré | |
| Numéro du projet | 7824140151 | |
| Titre du rapport | Caractérisation géochimique Yaouré– Roches stériles, matériaux de construction et résidus | |
| Numéro du rapport | A151-15-R2286 | |
| Statut du document | FINAL | |
| Numéro de publication | 2 | |
| Date de publication | 13 avril 2015 | |
| Auteur | Katy Hebditch |  1er avril 2015 |
| Réviseur | Miguel Díaz |  1er avril 2015 |
| Approbation du gestionnaire de projet | Zeyad El-Ansary |  1er avril 2015 |

CLAUSE DE NON-RESPONSABILITE

Le présent rapport a été préparé exclusivement pour le client précité par la société Amec Foster Wheeler Earth & Environmental UK Ltd. (ci-après dénommée la société Amec Foster Wheeler). La qualité des informations, conclusions et estimations ci-inclues est en cohérence avec le niveau de diligence fourni par les services de la société Amec Foster Wheeler et se fonde sur : i) les informations disponibles au moment de la préparation, ii) les données fournies par des sources extérieures et iii) les hypothèses, conditions et restrictions présentées dans le présent rapport. Le présent rapport est destiné à être utilisé par le client précité dans le cadre des modalités de son contrat avec la société Amec Foster Wheeler. Toute autre tierce partie faisant quelque utilisation que ce soit du présent rapport ou s'appuyant sur celui-ci de quelque manière que ce soit le fait à ses propres risques.

NOTE DE SYNTHÈSE

Le Projet aurifère Yaouré a une longue histoire d'exploitation minière - à la fois commerciale et artisanale. Jusqu'à ce jour, le Projet n'a exploité que du minerai oxydé. L'expansion envisagée de la mine aboutira à l'extraction de minéraux sulfurés, ce qui nécessitera une caractérisation des déchets supplémentaires. Les conditions climatiques à Yaouré résulteront probablement à la création de drainages pendant certaines saisons de l'année.

Le présent rapport détaille les résultats (Phase I) du programme de tests géochimiques commandé par la société Amara Mining plc dans le cadre du Projet aurifère Yaouré. La société Amec Foster Wheeler a conçu et géré un programme de tests géochimiques afin de caractériser les roches stériles, les résidus et les matériaux de construction potentiels qui seront produits suite à la mise en œuvre du projet Yaouré.

Roches stériles

Un total de 76 échantillons représentatifs de roches stériles ont été choisis spécifiquement à partir de lithologies de déchets afin de couvrir l'ensemble de la mine à ciel ouvert prévue, c'est-à-dire à la fois la zone minière de la CMA et les zones minières de Yaouré Central, en termes de distribution lithologique spatiale et représentative comme étape initiale de l'étude de caractérisation.

Ces échantillons de roches stériles ont été caractérisés par Détermination du potentiel acidogène (Acid Base Accounting - ABA) et par Production nette d'acide (Net Acid Generation - NAG). Il y avait une corrélation satisfaisante entre le soufre total et le soufre sous forme de sulfure, indiquant que la plus grande partie du soufre est présente sous forme de sulfure. Presque 59 % des échantillons avaient un total de soufre <0,1 %, ce qui constitue l'un des critères utilisés par l'Union européenne pour la classification des déchets inertes. Seuls deux échantillons ayant des résultats en soufre total plus élevé ont été considérés comme potentiellement acidogènes selon les résultats de Potentiel net de neutralisation (Net Neutralisation Potential - NNP) et de Taux potentiel de neutralisation (Neutralisation Potential Ratio - NPR).

Sept échantillons - représentant la gamme des teneurs en soufre et les différentes lithologies - ont été sélectionnés à des fins de caractérisation supplémentaire par l'utilisation de la fluorescence X (*X-Ray Fluorescence - XRF*), la diffraction X (*X-Ray Diffraction - XRD*) comprenant l'analyse de Rietveld et la lixiviation à court terme par l'utilisation de la Procédure de lixiviation par précipitation synthétique (*Synthetic Precipitation Leaching Procedure - SPLP*) de l'*Environmental Protection Agency des États-Unis (US EPA)*. Les résultats en éléments traces de la XRF ont indiqué la présence d'éléments potentiellement préoccupants en matière de lixivibilité des métaux, leur concentration étant considérablement plus élevée que dans la moyenne de la croûte terrestre. La caractérisation minéralogique a confirmé les résultats des tests ABA / NAG, certains échantillons contenant assez de calcite pour indiquer qu'un pH neutre serait conservé, et d'autres ayant une faible teneur en sulfures et par conséquent un élément

moteur de production d'acide limité. En se basant sur les résultats de lixiviation à court terme, la lixivabilité des métaux ne devrait pas constituer un problème important.

Les matériaux de construction

Un total de 23 échantillons de matériaux de construction ont été soumis à un test de soufre total par analyses LECO et XRF d'éléments majeurs et traces.

Les résultats issus des échantillons de matériaux de construction ont montré que leur minéralisation était supérieure à celle des roches stériles, avec un pic dans les échantillons dont le soufre total se situe entre 0,1 % et 0,2 %. Il n'a pas été possible de conclure à l'absence de problèmes potentiels concernant le drainage rocheux acide (*Acid Rock Drainage - ARD*) ou la lixivabilité des métaux (*Metal Leachability - ML*) à partir de ces échantillons.

Les résidus

Six échantillons de résidus représentant différents domaines (Oxyde, Transition, Sulfure de zone supérieure en CMA, Sulfure de zone inférieure en CMA, Sulfure de zone supérieure, Sulfure de zone inférieure) ont été fournis à des fins de tests géochimiques. Les échantillons ont été soumis à des tests par ABA, NAG, XRF, SPLP et à des tests de minéralogie par XRD (y compris par quantification Rietveld). Ces échantillons ont été produits par la simulation d'un circuit conventionnel de broyage et de cyanuration.

Les valeurs en soufre total des échantillons de résidus ont atteint 1 %. Les résultats par ABA et par NAG ont montré que les résidus Y de zone inférieure de CMA sont potentiellement acidogènes. Les résidus oxydés (YO) pourraient présenter une lixivabilité des métaux concernant de l'arsenic. Il est impossible de fournir une conclusion définitive sans élaborer un modèle géochimique suivant l'évolution de la chimie de l'installation de gestion des résidus, étant donné que différents types de résidus y sont entreposés.

Recommandations

Il est recommandé que des travaux de caractérisation supplémentaires soient effectués en ce qui concerne les échantillons de matériaux de construction ayant des valeurs de soufre total supérieures afin d'évaluer leur potentiel acidogène et de lixivabilité des métaux.

Il faudrait soumettre un grand nombre d'échantillons à des tests de leur soufre total afin d'atteindre un niveau de confiance plus élevé concernant les niveaux de soufre sur l'ensemble des matériaux rocheux stériles et d'augmenter la fiabilité statistique de la base de données dans le cadre de la phase de développement suivante du Projet.

Il est nécessaire d'établir la qualité des infiltrations issues des résidus, puis l'élaboration d'un modèle géochimique est recommandée.

Il est également recommandé que les données de référence concernant la qualité de l'eau soient examinées par un spécialiste de l'ARD lorsqu'elles seront complètes et disponibles.



CARACTERISATION GEOCHIMIQUE YAOURS
ROCHES STERILES, MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET RESIDUS
PROJET AURIFERE YAOURS – COTE D'IVOIRE
AVRIL 2015

TABLE DES MATIERES

| | | |
|-------|--|------|
| 1.0 | INTRODUCTION..... | 1-1 |
| 2.0 | INFORMATIONS GÉNÉRALES | 2-2 |
| 2.1 | Emplacement du Projet..... | 2-2 |
| 2.2 | Climat | 2-3 |
| 2.2.1 | Climat général de la Côte d'Ivoire | 2-3 |
| 2.2.2 | Climat du site du Projet Yaouré | 2-4 |
| 2.3 | Hydrologie | 2-5 |
| 2.3.1 | Cours d'eau et bassins versants | 2-5 |
| 2.3.2 | Qualité des eaux de surface | 2-6 |
| 2.4 | Géologie..... | 2-6 |
| 2.5 | Description technique du Projet aurifère Yaouré | 2-8 |
| 2.6 | Drainage rocheux acide | 2-9 |
| 2.7 | Résumé..... | 2-10 |
| 3.0 | DÉMARCHE CONCERNANT LE PROGRAMME | 3-11 |
| 3.1 | Étape 1 - Détermination du soufre total | 3-12 |
| 3.2 | Étape 2..... | 3-12 |
| 3.2.1 | Détermination du potentiel acidogène (Acid Base Accounting - ABA) | 3-12 |
| 3.2.2 | Test de Production nette d'acide (NAG) | 3-13 |
| 3.2.3 | pH de pâte..... | 3-14 |
| 3.3 | Étape 3..... | 3-14 |
| 3.3.1 | XRF/XRD | 3-14 |
| 3.3.2 | Procédure de lixiviation par précipitation synthétique (Synthetic Precipitation Leaching Procedure - SPLP) | 3-15 |
| 4.0 | MÉTHODOLOGIE..... | 4-16 |
| 4.1 | Examen de la base de données de lithologie | 4-16 |
| 4.2 | Sélection des échantillons | 4-16 |
| 4.3 | Tests sur les échantillons..... | 4-19 |
| 4.4 | Logistique..... | 4-20 |
| 4.5 | Laboratoires | 4-20 |
| 4.6 | Résumé..... | 4-21 |
| 5.0 | RÉSULTATS ET DISCUSSION | 5-22 |
| 5.1 | Échantillons de roches stériles | 5-22 |
| 5.1.1 | ABA et NAG | 5-22 |
| 5.1.2 | Analyse de roche entière | 5-28 |
| 5.1.3 | Lixiviat de SPLP..... | 5-31 |
| 5.2 | Les matériaux de construction | 5-32 |
| 5.2.1 | Soufre total..... | 5-33 |
| 5.2.2 | XRF | 5-36 |
| 5.3 | Échantillons de résidus | 5-38 |
| 5.3.1 | Résultats de pré-lixiviation | 5-38 |
| 5.3.2 | Résultats ABA et NAG | 5-41 |
| 5.3.3 | Analyse de résidus (rocheux) entiers | 5-41 |
| 5.3.4 | Lixiviat de SPLP..... | 5-44 |
| 5.3.5 | Les infiltrations | 5-46 |
| 6.0 | CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS..... | 6-48 |
| 6.1 | Roches stériles..... | 6-48 |

| | | |
|-------|-------------------------------------|------|
| 6.2 | Matériaux de construction | 6-48 |
| 6.3 | Résidus | 6-48 |
| 6.4 | Recommandations | 6-49 |
| 6.4.1 | Roches stériles..... | 6-49 |
| 6.4.2 | Les matériaux de construction | 6-49 |
| 6.4.3 | Les résidus..... | 6-49 |
| 6.4.4 | Autres..... | 6-49 |
| 7.0 | RÉFÉRENCES..... | 7-50 |

ANNEXES

Annexe A : Méthodologie ABA et NAG

Annexe B : Procédure SPLP

Annexe C : Échantillons représentatifs géologiques

Annexe D : Liste des échantillons de roches stériles et de matériaux de construction

Annexe E : Certificats de résultats SGS

Annexe F : Rapports de résultats RHUL

Annexe G : Certificats de résultats ALcontrol

TABLEAUX

| | | |
|---------------|---|------|
| Tableau 2-1: | Températures moyennes mensuelles du Projet Yaouré exprimées en °C, 2009-2013 (station météorologique de la société Amara) | 2-4 |
| Tableau 2-2: | Précipitations mensuelles de Yaouré : 2009-2013 (Source : Amara)..... | 2-4 |
| Tableau 2-3: | Données d'évaporation, d'humidité et d'ensoleillement de Kossou (Source : LaSource, 1997)..... | 2-5 |
| Tableau 3-1: | Critères de sélection d'ABA – NPR..... | 3-13 |
| Tableau 3-2: | Critères de sélection ABA – NNP. | 3-13 |
| Tableau 3-3: | Classification NAG | 3-14 |
| Tableau 4-1: | Distribution de lithologie et numéros d'échantillons..... | 4-16 |
| Tableau 4-2: | Nombre d'échantillons par lithologie | 4-17 |
| Tableau 4-3: | Résumé des nombres d'échantillons et des laboratoires utilisés pendant l'étude ... | 4-21 |
| Tableau 5-1: | Résumé des résultats ABA NNP par lithologie..... | 5-26 |
| Tableau 5-2: | Résumé des résultats ABA NPR par lithologie..... | 5-27 |
| Tableau 5-3: | Informations détaillées sur les échantillons de roches stériles sélectionnés pour analyses supplémentaires. | 5-28 |
| Tableau 5-4: | Résultats XRF concernant les oxydes majeurs pour les sept échantillons de roches stériles (%) | 5-28 |
| Tableau 5-5: | Résultats de test XRF concernant les éléments trace pour les sept échantillons de roches stériles (valeurs en ppm sauf indication contraire)..... | 5-29 |
| Tableau 5-6: | Résultats de minéralogie XRD par quantification Rietveld pour les sept échantillons de roches stériles. | 5-30 |
| Tableau 5-7: | Résultats de pH et de conductivité du lixiviat de SPLP pour les sept échantillons de roches stériles. | 5-31 |
| Tableau 5-8: | Résultats de l'analyse du lixiviat de SPLP pour les sept échantillons de roches stériles. | 5-32 |
| Tableau 5-9: | Moyenne d'oxydes majeurs par XRF en fonction de leur lithologie pour les échantillons de matériau de construction (%). | 5-36 |
| Tableau 5-10: | Moyenne des éléments traces par XRF en fonction de leur lithologie concernant les échantillons de matériau de construction (valeurs exprimées en ppm sauf indication contraire). | 5-37 |
| Tableau 5-11: | Informations détaillées sur les six échantillons de résidus et les tonnages attendus (issus de l'évaluation économique préliminaire). | 5-38 |
| Tableau 5-12: | Résultat concernant les métaux essentiels, le soufre et le carbone pour les échantillons principaux (pré-lixiviation). | 5-38 |
| Tableau 5-13: | Résultats XRD pour les échantillons principaux, (pré-lixiviation) [%]. | 5-39 |
| Tableau 5-14: | Résultats ICP pour les échantillons principaux, (pré-lixiviation). | 5-40 |
| Tableau 5-15: | Résumé des résultats des tests ABA et NAG pour les six échantillons de résidus. | 5-41 |
| Tableau 5-16: | Moyenne d'oxydes majeurs par XRF en fonction de leur lithologie pour les échantillons de résidus (%). | 5-41 |
| Tableau 5-17: | Concentrations d'éléments traces par XRF pour les échantillons de résidus (valeurs exprimées en ppm sauf indication contraire). | 5-42 |
| Tableau 5-18: | Résultats de minéralogie XRD par quantification Rietveld pour les six échantillons de résidus (% de poids). | 5-44 |
| Tableau 5-19: | Résultats de pH et de conductivité du lixiviat de SPLP pour les six échantillons de résidus..... | 5-45 |
| Tableau 5-20: | Résultats de l'analyse du lixiviat de SPLP pour les six échantillons de résidus..... | 5-45 |



CARACTERISATION GEOCHIMIQUE YAOURE
ROCHES STERILES, MATERIAUX DE CONSTRUCTION ET
RESIDUS
PROJET AURIFERE YAOURE – COTE D'IVOIRE
AVRIL 2015

FIGURES

| | |
|---|------|
| Figure 2-1: Emplacement du Projet Yaouré de la société Amara | 2-3 |
| Figure 2-2: Géologie du Projet Yaouré (Source : Amara Mining)..... | 2-8 |
| Figure 3-1: Méthodologie générale de la caractérisation des déchets..... | 3-11 |
| Figure 4-1 : Emplacements des échantillons de roches stériles | 4-18 |
| Figure 4-2 : Emplacements des échantillons de matériaux de construction | 4-19 |
| Figure 5-1: Histogramme indiquant les résultats de soufre total pour les échantillons de roches stériles. | 5-22 |
| Figure 5-2: Histogramme indiquant les résultats de soufre total par lithologie pour les échantillons de roches stériles. | 5-23 |
| Figure 5-3: Graphique montrant une corrélation satisfaisante entre le soufre total et le soufre sous forme de sulfure. | 5-24 |
| Figure 5-4: Résultats de pH de pâte rapportés au soufre total par lithologie pour les échantillons de roches stériles. | 5-24 |
| Figure 5-5: Résultats de NNP rapportés au soufre total par lithologie pour les 76 échantillons de roches stériles. | 5-25 |
| Figure 5-6: Résultats ABA NPR rapportés au soufre total pour les échantillons de roches stériles. | 5-26 |
| Figure 5-7: pH de NAG final rapporté au soufre total pour les échantillons de roches stériles. Seul un échantillon a été considéré comme potentiellement formateur d'acide avec un pH de NAG de 2,86..... | 5-27 |
| Figure 5-8: Traces XRD pour les sept échantillons de roches stériles..... | 5-30 |
| Figure 5-9: Histogramme indiquant les résultats de soufre total pour les échantillons de matériaux de construction. | 5-33 |
| Figure 5-10: Histogramme indiquant les résultats de soufre total par lithologie pour les échantillons de matériaux de construction. | 5-33 |
| Figure 5-11: Graphique montrant les proportions relatives des échantillons de roches stériles et de matériaux de construction dans chaque gamme de soufre total. | 5-34 |
| Figure 5-12: Emplacement des échantillons de matériau de construction présentant un soufre total ≥ 0.1 %. | 5-35 |
| Figure 5-13: Trace XRD pour l'échantillon 1006 avec des marqueurs pics concernant les principaux minéraux présents. | 5-43 |
| Figure 5-14: Traces XRD pour les cinq échantillons semblables. | 5-44 |
| Figure 5-15: Environnement chimique dans les installations de gestion des résidus contenant des minéraux générateurs d'ARD. | 5-46 |

1.0 INTRODUCTION

En juin 2014, la société Amec Foster Wheeler Earth and Environmental (UK) Ltd (ci-après dénommée AMEC Foster Wheeler) a été engagée afin de gérer des tests dans le cadre du Projet aurifère Yaouré (ci-après dénommé le Projet ou Yaouré) de la société Amara Mining PLC's (ci-après dénommée la société Amara). Ce programme de tests a compris des programmes de tests de traitement, ainsi que de tests géotechniques et géochimiques.

La société Amec Foster Wheeler a conçu et géré le programme de tests géochimiques afin de caractériser les roches stériles, les résidus et les matériaux de construction potentiels qui seront produits suite à la mise en œuvre du projet Yaouré. Le but de la présente étude est de fournir une documentation sur le comportement probable des futures roches stériles, résidus et matériaux de construction, ainsi que de proposer le cas échéant des mesures d'atténuation et des informations relatives à la gestion des déchets. Le présent rapport constitue un résumé des résultats de ces tests.

La société Amec Foster Wheeler s'est appuyée sur des informations générales tirées du rapport d'orientation concernant l'ESIA effectué par la société Amec Foster Wheeler (Rapport N° A152-14-R2267). Des informations supplémentaires pourront être trouvées dans les études de référence effectuées par la société Amec Foster Wheeler dans le cadre de l'ESIA, ainsi qu'une description supplémentaire de la conception du projet.

Le mandat du présent rapport consiste à :

- Examiner les informations générales et créer une liste d'échantillons destinés aux tests, la visite sur site pouvant être coordonnée avec la visite géotechnique afin de réduire les coûts au minimum
- Définir un programme de test, demander des devis à au moins deux laboratoires, les examiner et recommander le soumissionnaire préférentiel à la société Amara
- Agir en liaison avec les laboratoires retenus afin d'assurer une progression satisfaisante du programme de tests, et vérifier la qualité des résultats
- Fournir une interprétation des résultats ; et
- Produire un rapport susceptible de se suffire à lui-même ou d'être intégré dans un autre rapport convenu

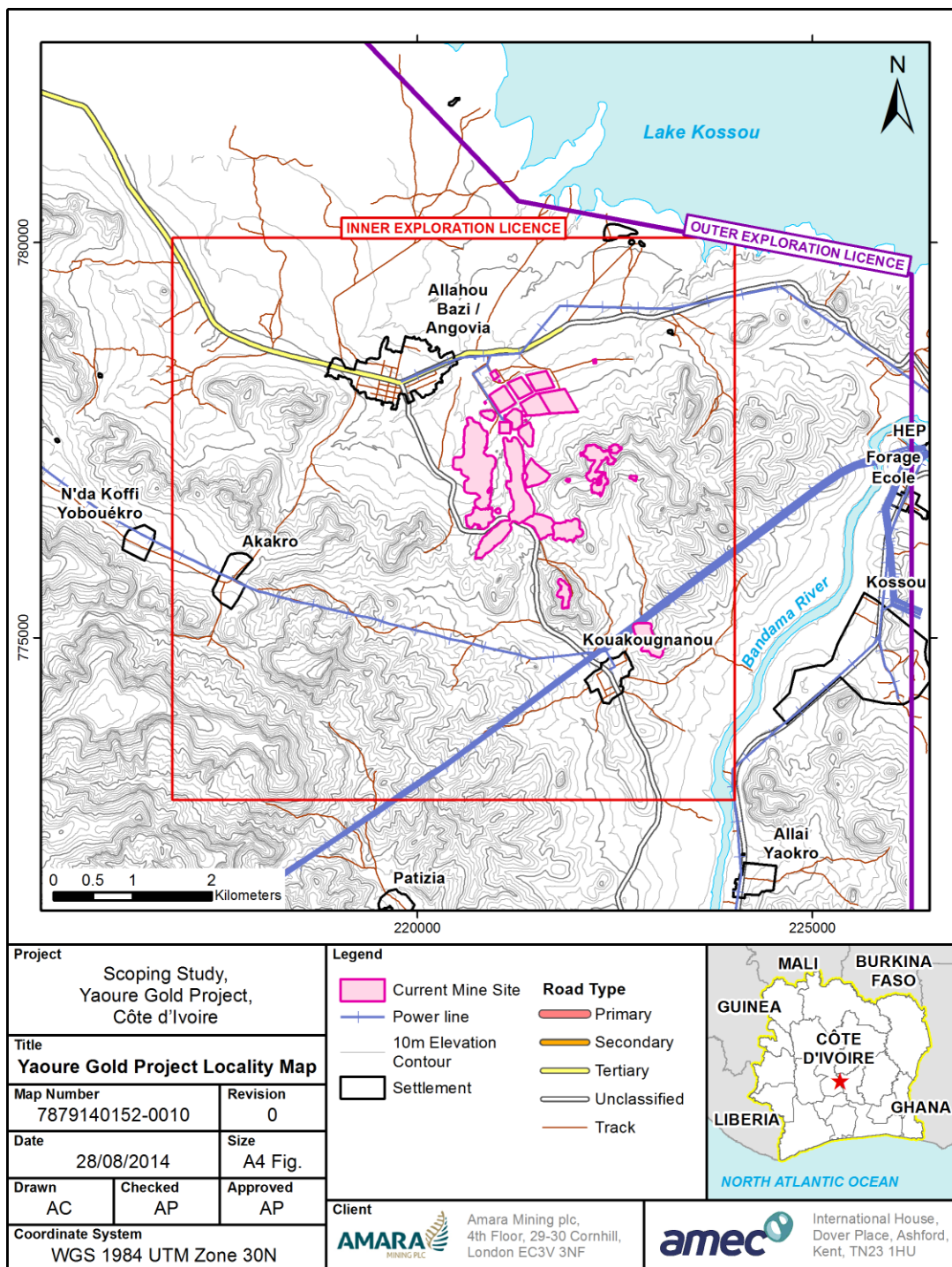
2.0 INFORMATIONS GÉNÉRALES

2.1 Emplacement du Projet

Le Projet aurifère Yaouré se trouve dans la préfecture de Bouaflé de la région de Marahoué en Côte d'Ivoire. Le Projet est situé à environ 40 km au nord-ouest de la capitale politique de Yamoussoukro, à 260 km au nord-ouest de la capitale administrative d'Abidjan et à 25 km de la capitale régionale de Bouaflé. La mine est située à environ 6 km du lac Kossou et de sa centrale de production hydroélectrique. L'emplacement du Projet est indiqué dans la [Figure 2-1](#).

Le Projet est une friche de mine d'extraction aurifère à ciel ouvert ayant été soumise dans un passé éloigné et récent à diverses activités d'exploitation aurifère.

Figure 2-1: Emplacement du Projet Yaouré de la société Amara



2.2 Climat

2.2.1 Climat général de la Côte d'Ivoire

Le climat de la Côte d'Ivoire est influencé par la zone de convergence intertropicale. Il en résulte un climat équatorial dans le sud, un climat tropical dans le centre et un climat semi-aride dans le nord du pays. Les températures moyennes s'étalent de 25°C à 32°C, tandis que le niveau moyen des précipitations du pays est de 1000 mm.

Selon l'ESIA de 2007 menée par SGS pour Cluff Mining, quatre saisons se distinguent nettement en Côte d'Ivoire :

- Une saison sèche (de décembre à mai)
- Une saison humide (de mai à juillet)
- Une saison sèche (de juillet à octobre)
- Une saison humide (d'octobre à novembre)

Les vents sont modérés et viennent en général du quadrant sud-ouest, sauf en septembre et en janvier où l'harmattan souffle depuis le nord-nord-est (LaSource, 1997).

2.2.2 Climat du site du Projet Yaouré

Des données climatiques sont recueillies sur le site de Yaouré depuis 2009. Une nouvelle station météorologique fournissant des données de température et de précipitations a été installée sur le site en 2014.

Températures

Les températures moyennes et maximales spécifiques au site figurent dans le [Tableau 2-1](#) ~~Tableau 2-1~~. Les températures moyennes vont de 22°C à 32°C tout au long de l'année.

Tableau 2-1 : Températures moyennes mensuelles du Projet Yaouré exprimées en °C, 2009-2013 (station météorologique de la société Amara)

| | Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juill. | Août | Sept | Oct. | Nov. | Déc. |
|-------------|-------|-------|------|-------|------|------|--------|------|------|------|------|------|
| 2009 | 39,8 | 29,4 | 28,5 | 28,4 | 27,7 | 27,3 | 25,3 | 25,3 | 26,2 | 26,8 | 26,9 | 27,8 |
| 2010 | 28,5 | 29,3 | 29,8 | 29,5 | 28,8 | 27,1 | 25,8 | 25,7 | 26,6 | 27,3 | 28,0 | 27,3 |
| 2011 | 26,6 | 29,0 | 29,1 | | 28,0 | 27,0 | 25,4 | 25,8 | 26,9 | 27,3 | 27,9 | 26,5 |
| 2012 | 27,4 | 28,8 | 29,8 | 28,5 | 22,2 | 26,5 | 25,3 | 25,0 | 26,5 | 26,9 | 22,2 | 26,9 |
| 2013 | 26,7 | 29,7 | 29,0 | 29,0 | 27,7 | 26,8 | 25,5 | 25,1 | 26,1 | 27,1 | 27,5 | 26,8 |

Précipitations

Les précipitations de Yaouré font l'objet de relevés depuis 2009, malgré des lacunes dans les données. Les précipitations moyennes mensuelles concernant la période 2009-2013 figurent dans le [Tableau 2-2](#) ~~Tableau 2-2~~.

Les précipitations annuelles de la zone du Projet sont d'environ 1100 mm. Les données moyennes mensuelles sont semblables aux données de Kossou et de Yamoussoukro. Mai 2013 a été particulièrement humide.

Tableau 2-2 : Précipitations mensuelles de Yaouré : 2009-2013 (Source : Amara)

| | Janv. | Févr. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juill. | Août | Sept | Oct. | Nov. | Déc. |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|------|------|
| 2009 | 0,0 | 35,2 | 219,8 | 153,1 | 105,8 | 67,8 | 46,8 | 16,4 | 48,4 | 102,0 | 88,8 | 0,0 |
| 2010 | 6,0 | 8,6 | 76,8 | 90,4 | 199,6 | 167,3 | 143,2 | 137,0 | 137,4 | 171,6 | 29,4 | 9,6 |
| 2011 | 0,0 | 103,0 | 20,8 | | 128,8 | 152,0 | 118,0 | 208,0 | 137,0 | 171,2 | 0,2 | 0,0 |
| 2012 | 0,2 | 90,0 | 132,0 | 175,4 | 202,4 | 245,5 | 33,4 | 119,2 | 167,2 | 188,1 | 48,2 | 3,6 |
| 2013 | 0,0 | 42,2 | 138,7 | 309,8 | 422,6 | 65,0 | 12,0 | 74,4 | 129,5 | 102,8 | 69,2 | 13,0 |

Des données historiques supplémentaires sur les précipitations peuvent être recueillies auprès des stations régionales et sont décrites dans le rapport d'orientation d'ESIA de la société Amec Foster Wheeler.

Humidité et évaporation

Le **Tableau 2-3** comprend les données d'évaporation moyenne mensuelle, d'humidité absolue et d'ensoleillement fournies par la station météorologique du lac Kossou, située à 5,5 km à l'est-sud-est du projet. À Kossou, les précipitations sont supérieures à l'évaporation, ce qui fait de la région une zone excédentaire en eau.

Tableau 2-3 : Données d'évaporation, d'humidité et d'ensoleillement de Kossou (Source : LaSource, 1997)

| | Janv | Févr. | Mars | Avril | Mai | Juin | Juill. | Août | Sept | Oct. | Nov. | Déc. | Moy |
|------------------------------|------|-------|------|-------|------|------|--------|------|------|------|------|------|-------------|
| Évaporation (mm) | 108 | 109 | 102 | 80 | 60 | 48 | 49 | 51 | 44 | 48 | 50 | 71 | 788 |
| Humidité absolue (mm) | 63,1 | 64,3 | 68,8 | 73,3 | 77,1 | 79,4 | 80,2 | 79,9 | 79,1 | 77,8 | 72,6 | 69,6 | 74,0 |
| Ensoleillement (h) | 201 | 190 | 201 | 208 | 204 | 154 | 111 | 96 | 119 | 171 | 174 | 153 | 1986 |

Les données moyennes de précipitations et d'évaporation (mesurée à l'aide de bacs) sont utilisées pour effectuer une évaluation annuelle de l'infiltration dans les décharges de roches stériles. En règle générale, si les précipitations annuelles sont inférieures à 250 mm et si l'évaporation mesurée à l'aide de bacs est supérieure à 1900 mm, l'infiltration naturelle ne se produira très probablement pas en quantités mesurables. Dans les zones où les précipitations sont supérieures à 500 mm, on peut supposer que des infiltrations se produiront en quantités mesurables. Dans le cas du projet Yaouré, il est probable qu'un drainage se produise pendant les saisons humides en raison des conditions climatiques.

2.3 Hydrologie

2.3.1 Cours d'eau et bassins versants

Le site du projet est principalement drainé par des lignes de drainage permanentes ou non permanentes du fleuve Bandama. De nombreux cours d'eau sont éphémères et ne coulent que pendant l'une des saisons humides.

L'ensemble du site du Projet se situe dans le même sous-bassin versant dont les eaux s'écoulent toutes soit dans le lac Kossou, soit dans le fleuve Bandama (Bandama Blanc) au sud du barrage de Kossou, au nord de Tombokro. Les limites de ce sous-bassin versant comprennent également la zone intérieure de licence d'exploration et descendent vers le sud depuis le lac Kossou vers N'da Koffo Yobouékro, en direction du sud-ouest vers Lotanzia, et ensuite en direction de l'est-sud-est vers le Bandama au nord de Tombokro. Avec ses 800 km, le fleuve Bandama est le plus long de Côte d'Ivoire ; il s'écoule presque du nord vers le sud en passant par le centre du pays avant de se déverser dans le lagon Tagba et le golfe de Guinée.

2.3.2 Qualité des eaux de surface

Le site a une longue histoire d'activités d'extraction minière, comprenant une exploitation de lixiviat en tas et des activités minières artisanales passées et présentes.

La surveillance des eaux de surface a été réalisée sur le site de façon intermittente depuis 2006, une surveillance régulière ayant été mise en œuvre depuis 2014 avec des tests concernant les paramètres physiques et chimiques standards, y compris en ce qui concerne les métaux lourds. Ces données de surveillance fourniront des mesures de référence concernant la qualité des eaux de surface qui seront détaillées dans l'ESIA.

2.4 Géologie

La géologie régionale du site du projet (SRK, 2008¹) est composée d'une série de ceintures de roches vertes archéennes et birimiennes séparées par des granites et des migmatites plus anciens. Le gisement d'Angovia lui-même se trouve dans l'une des ceintures de roches vertes birimiennes, à l'intérieur de l'Unité de Yaouré qui est constituée d'une série de roches mafiques et métavolcaniques, de roches intrusives felsiques et de conglomérats mineurs, associés à des roches intrusives calco-alcalines et ultramafiques, dont toutes ont une direction dominante orientée au nord-nord-est.

La majeure partie de la zone du Projet est sous-tendue par des roches volcaniques mafiques à prédominance massive et sous la forme de basaltes en coussins. La partie nord de la région comprend des intrusions granodioritiques massives qui ont localement une texture légèrement porphyrique. On trouve ailleurs de nombreux sills porphyriques surtout associés à la Zone principale de Yaouré. Une unité volcanoclastique, principalement d'origine épicyclastique est située près du contact de la roche granodioritique au nord. La roche granodioritique intrusive au nord n'est pas minéralisée tandis que celle de la mine de Yaouré contient des veines de quartz minéralisées.

La minéralisation de Yaouré est contenue dans deux ensembles aurifères orientés nord-sud et faiblement inclinés (<30 degrés), contrôlés par une zone épaisse de roches cisailées fragiles-ductiles. L'ensemble rocheux de Yaouré Central est une zone minéralisée à faible teneur, épaisse de 200 m, avec des lentilles à plus haute teneur et des veines de quartz transversales sub-verticales à haute teneur. L'ensemble rocheux de la CMA est une zone plus distincte, relativement continue de 20 m d'épaisseur située environ à 140 mètres au-dessus du corps de Yaouré Central.

L'unité de Yaouré forme un synclinal de roches métavolcaniques basiques tholéitiques et de sédiments recouvert par des roches volcaniques plus acides. Il est admis que les roches tholéitiques ont été formées suite à une altération hydrothermale, et elles sont composées de chaille, ainsi que de pyrite, de pyrrhotite, de chlorite, d'épidote, de tourmaline et de carbonates disséminés et en veinules. Il est également admis que les roches volcanosédimentaires acides à intermédiaires sus-jacentes représentent des flux pyroclastiques et pyroclastiques acides.

Toutes les roches ci-dessus ont été pénétrées par des roches plutoniques basiques à ultra-basiques et par des roches volcano-plutoniques calco-alcalines acides intermédiaires, et l'ensemble rocheux dans sa totalité est à son tour recouvert par le conglomérat polygénique de Bénou. Toutes ces roches ont été déformées par une série

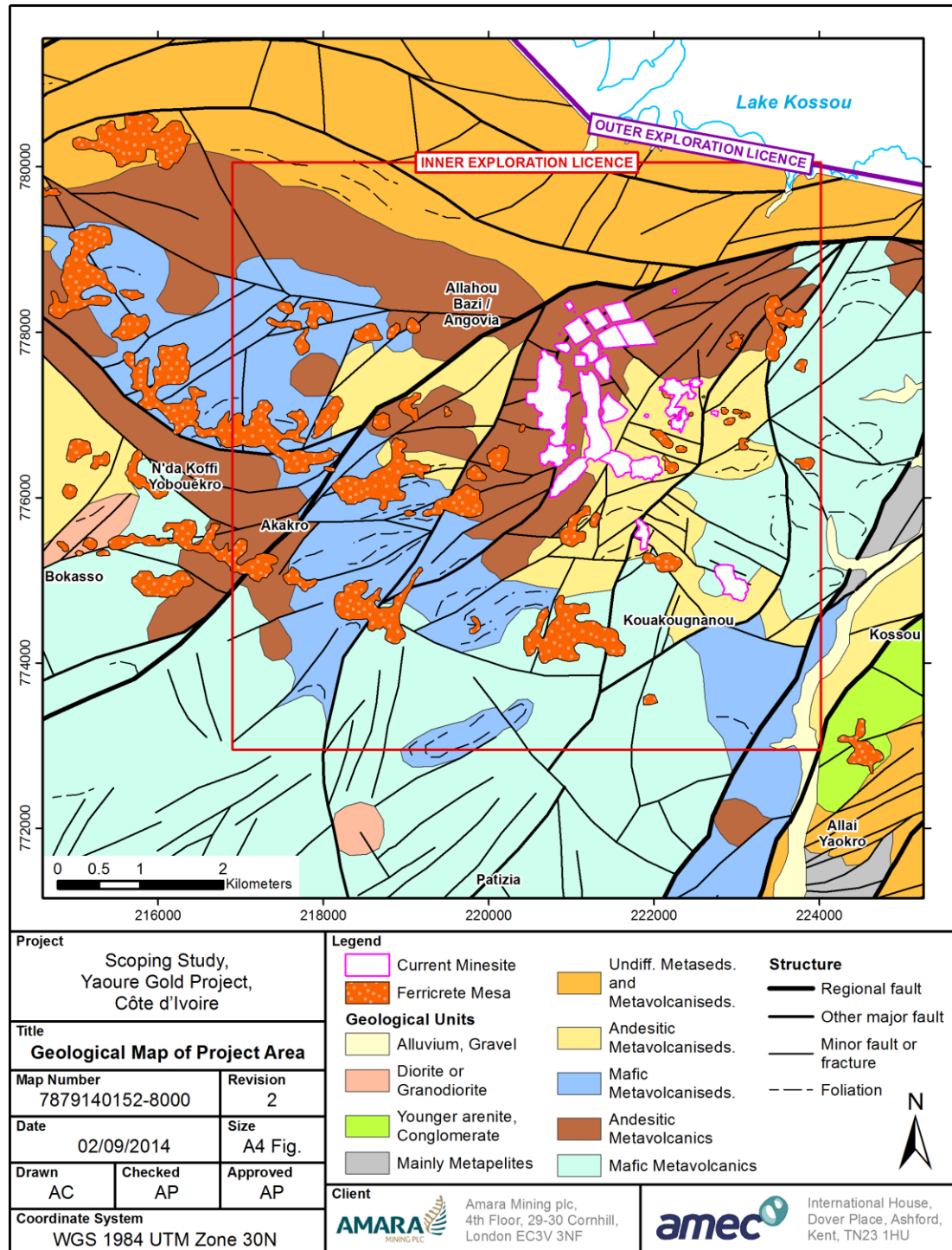
¹ SRK, Étude technique de la mine d'or d'Angovia, Mont Yaouré, Côte d'Ivoire (Rapport NI 43-101), 2008

de zones de cisaillement orientées est-ouest et pénétrées par des veines de quartz associées.

Des profils de dégradation primaires et secondaires latéritiques se sont également développés dans toute la zone au-dessus du conglomérat. La minéralisation aurifère elle-même semble principalement localisée dans des zones d'altération à contrôle structural à l'intérieur de roches volcaniques intermédiaires.

La géologie du Projet figure dans la Figure 2-2.

Figure 2-2: Géologie du Projet Yaouré (Source : Amara Mining)



2.5 Description technique du Projet aurifère Yaouré

L'intention de la société Amara est de commencer les activités minières à Yaouré par l'expansion des friches industrielles. Cette expansion entraînera une mise à niveau des installations existantes et la construction de nouvelles installations lorsque cela sera nécessaire. La durée de vie de la mine (LoM) devrait être de 13 ans. Le projet devrait être constitué des éléments suivants :

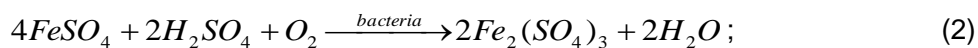
- Une expansion/Un approfondissement des mines à ciel ouvert existantes pour couvrir une zone d'environ 179,2 hectares (ha).
- La mise en place de nouvelles installations de déchets miniers comprenant des installations de gestion des résidus (*Tailings Management Facility - TMF*), une décharge de roches stériles (*waste rock dump - WRD*), des barrages d'eaux de traitement et des stockages de morts-terrains.
- Des stocks de minéraux et de minerai.
- Une usine de transformation.
- Des installations secondaires.

2.6 Drainage rocheux acide

L'éventualité d'un drainage rocheux acide (*acid rock drainage - ARD*) constitue un problème important concernant l'extraction de minéraux susceptibles d'être en lien avec le sulfure. L'ARD se produit quand des sulfures réactifs entrent en contact avec de l'oxygène et de l'eau en présence de bactéries oxydant le fer/soufre et quand la matière alcaline est inefficace ou en quantité insuffisante pour arrêter la réaction d'oxydation ou pour en neutraliser les produits. L'ARD est un problème dynamique et spatial qui survient si l'acidité produite est supérieure à la capacité de neutralisation du système à toutes les étapes du cycle de vie du phénomène naturel d'oxydation des sulfures. Le terme ARD s'applique au lixiviat, aux infiltrations ou au drainage engendrés.

Les deux minéraux sulfurés principaux associés à l'ARD sont les minéraux de gangue que sont la pyrite et la pyrrhotite. La pyrite est relativement abondante et n'est en général pas récupérée lors de la transformation du minerai. Lorsque la pyrite et la pyrrhotite ne sont pas récupérées ou oxydées dans la transformation du minerai, elles peuvent devenir une source d'acidité. Des roches transportant des carbonates (par exemple le calcaire) et des silicates réactifs fournissent en général la capacité naturelle de neutralisation du système.

Le drainage acide est produit selon les trois équations générales suivantes :



L'aspect du problème lié à la neutralisation est en général représenté par l'équation suivante :



Les équations 1 à 4 représentent, en termes très généraux, la chimie de base de l'ARD ; néanmoins, sa manifestation peut varier selon les caractéristiques physiques et minéralogiques de la matière, la méthode d'élimination et les conditions climatiques locales. En raison de l'interaction de ces facteurs, l'ARD est considéré comme un

problème particulier à un site. Dans certains cas, un problème de lixivabilité des éléments traces peut survenir même quand la matière n'est pas génératrice d'ARD. Cela fait en général l'objet d'une évaluation avec recours à des tests de lixivabilité à court terme.

La qualité du drainage issu des décharges de roches stériles est particulièrement influencée par la distribution granulométrique des matières en dépôt dans la décharge. Les particules fines ont une influence disproportionnée sur la qualité du drainage, et par conséquent des précautions doivent être prises lors de la prédiction de la future qualité d'un drainage issu d'une décharge de roches stériles.

2.7 Résumé

Jusqu'à maintenant, la mine sur le site du Projet a exploité un minerai oxydé qui n'a pas de tendance à la génération d'ARD. La société SGS a réalisé un échantillonnage afin de déterminer le potentiel d'ARD en juillet 2010, et les résultats ont confirmé l'absence à ce stade de problème d'ARD en lien avec l'exploitation.

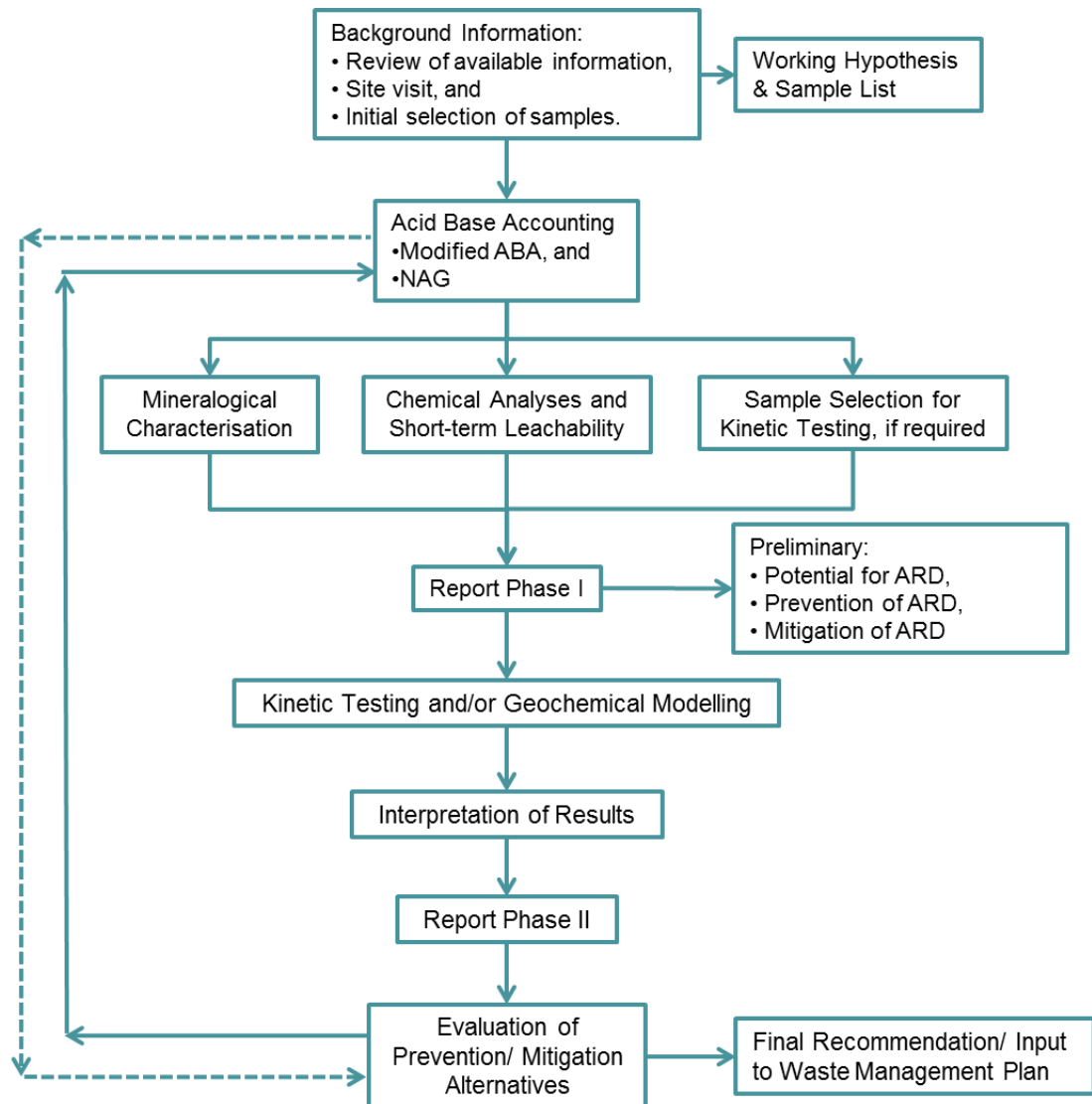
Le développement minier envisagé aboutira à l'extraction de minéraux sulfurés, et des essais ARD supplémentaires seront réalisés. La manifestation de l'ARD peut varier selon les caractéristiques physiques et minéralogiques de la matière, la méthode d'élimination et les conditions climatiques locales. En raison de l'interaction de ces facteurs, l'ARD est considéré comme un phénomène particulier à un site. Le fait que la présence de sulfure soit l'élément moteur de la production d'acide constitue le facteur essentiel de la génération d'ARD, et par conséquent aucun ARD ne peut se produire en l'absence de sulfure. Les conditions climatiques à Yaouré aboutiront probablement à la production de drainages pendant certaines saisons de l'année.

Si un potentiel significatif de génération d'ARD apparaissait lors de l'évaluation géochimique, alors il pourrait être approprié d'inclure au Projet les meilleures pratiques en vigueur dans le secteur pour une gestion efficace. Cet aspect sera examiné dans l'enquête d'ESIA.

3.0 DÉMARCHE CONCERNANT LE PROGRAMME

La ~~Figure 3-1~~~~Figure 3-4~~ illustre la séquence de méthodes et de techniques utilisées au cours de l'enquête afin d'atteindre un niveau de confiance satisfaisant dans les prévisions et les mesures d'atténuation envisagées. Il s'agit d'une méthodologie générale, c'est pourquoi elle est appliquée avec des degrés différents à différents flux de déchet.

Figure 3-1: Méthodologie générale de la caractérisation des déchets



L'éventualité d'une classification erronée par placement dans une mauvaise catégorie suite à l'utilisation d'une méthode de détermination du potentiel acidogène (*Acid Base Accounting* - ABA) est essentielle dans la caractérisation des échantillons potentiellement acidogènes. Afin de réduire cette possibilité au minimum, il est recommandé de tester les échantillons en utilisant au moins deux méthodes ABA différentes.

La sélection des échantillons a été effectuée par la société Amara sous la supervision d'un ingénieur géotechnique de la société Amec Foster Wheeler.

3.1 Étape 1 - Détermination du soufre total

La mesure du soufre total par LECO® (combustion à haute température suivie d'une détection par infrarouge) fournit une indication de la présence potentielle de sulfures qui constituent l'élément moteur de la production d'acide. Le soufre total est une démarche prudente puisqu'elle inclut des sulfures comme le sulfate, le soufre élémentaire et le soufre sous forme de sulfure.

3.2 Étape 2

3.2.1 Détermination du potentiel acidogène (Acid Base Accounting - ABA)

La méthode ABA constitue généralement la première étape dans la prévision et l'évaluation de l'ARD. En règle générale, l'ABA vise à déterminer d'une part le potentiel acidogène (directement lié à la teneur en sulfure de l'échantillon) et d'autre part le potentiel de neutralisation. En comparant ces deux valeurs, les échantillons peuvent être classés comme potentiellement acidogènes, se trouvant dans une zone d'incertitude ou étant peu susceptibles de générer de l'ARD. La méthode ABA peut être considérée comme équivalente à la caractérisation de la thermodynamique chimique d'un système, c'est-à-dire que la méthode ABA indique qu'un événement est susceptible de se produire, mais ne garantit pas qu'il se produira ni, dans les cas où il se produit, à quel endroit et à quelle vitesse. Si un échantillon est potentiellement acidogène, alors un test cinétique est nécessaire afin de préciser si un échantillon générera de l'ARD et avec quel degré d'intensité.

Il existe un nombre considérable de façons possibles d'effectuer une méthode ABA. L'expérience a montré que les méthodes qui utilisent le calcul de production acide basée sur le soufre total et/ou le potentiel de neutralisation de toutes les matières productrices d'alcalinité dans l'échantillon ont davantage tendance à classer de manière erronée l'échantillon dans une mauvaise catégorie. La méthode choisie ici pour effectuer des essais de détermination du potentiel acidogène est la « méthode ABA modifiée » (Lawrence et Wang, 1997²) qui est considérée (sur la base de tests comparatifs) comme fournissant une valeur plus réaliste relativement aux potentiels d'acide et de neutralisation. Des tests concernant la Production nette d'acide (*Net Acid Generation - NAG*) (décrite dans la Section 3.2.2) ont également été effectués afin de vérifier et de compléter les résultats obtenus par l'utilisation d'une méthode ABA et comme la base d'une classification du potentiel des roches stériles dans ce domaine. Les méthodes utilisées dans les essais ABA et NAG sont décrites dans l'Annexe A.

Deux paramètres sont généralement calculés pour classer les matières en termes d'ARD. Il s'agit des suivants :

- Le potentiel net de neutralisation (*net neutralisation potential - NNP*), qui est le potentiel de neutralisation (NP) moins le potentiel acide (AP).
- Le ratio de neutralisation (*neutralisation potential ratio - NPR*) qui est le NP divisé par l'AP.

² *Modified Acid Base Accounting Procedure, R.W. Lawrence et Y. Wang. 4ème Conférence internationale sur le Drainage rocheux acide. 31 mai – 6 juin 1997, Vancouver, B.C. Canada. p.464.*

Les critères de sélection d'ABA adoptés dans cette interprétation sont principalement ceux recommandés par le ministère de l'Emploi et de l'Investissement de Colombie Britannique au Canada et qui figurent dans le [Tableau 3-1](#)~~Tableau 3-4~~. L'AP et le NP sont exprimés grâce à la même unité : le kg CaCO₃/tonne de matière. Dans cette section, le mot « acidité » indique la présence d'acidité minérale (ions d'hydrogène libre) dans l'échantillon. La plupart des processus vitaux dans les eaux naturelles sont gravement compromis si le pH ne se trouve pas compris entre 4,5 et 10,3. Si le pH de l'eau chute en dessous de 4,5, cela indique la présence d'acidité minérale (c'est-à-dire que si des ions d'hydrogène supplémentaires sont ajoutés en raison d'un processus quelconque, ces ions d'hydrogène demeureront comme tels en solution). L'acidité est le résultat de la réalisation du potentiel acide.

Tableau 3-1 : Critères de sélection d'ABA – NPR.

| Potentiel d'ARD | NPR initial | Commentaires |
|-----------------|-------------|---|
| Probable | < 1:1 | Probable générateur d'ARD |
| Possible | 1:1 à 2:1 | Possible générateur d'ARD si le NP est insuffisamment réactif ou réduit à un taux plus rapide que les sulfures. |
| Bas | 2:1 à 4:1 | Non potentiellement générateur d'ARD, sauf en cas d'exposition préférentielle significative aux sulfures ou en cas de sulfures extrêmement réactifs en combinaison avec un NP insuffisamment réactif. |
| Aucun | > 4:1 | Aucun test supplémentaire n'est requis, à moins que la matière ne soit appelée à être utilisée comme source d'alcalinité. |

Le Potentiel net de neutralisation (NNP) constitue un critère de sélection alternatif, comme cela est montré dans le [Tableau 3-2](#)~~Tableau 3-2~~.

Tableau 3-2 : Critère de sélection ABA – NNP.

| NNP (kg CaCO ₃ /t) | Potentiel d'ARD | Commentaires |
|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| <-20 | Potentiellement acidogène | Équivalent à Probable |
| Entre -20 et +20 | Zone d'incertitude | Équivalent à Possible/Bas |
| >+20 | Non potentiellement acidogène | Équivalent à aucun |

Le critère de NNP est plus pertinent avec les échantillons dont la teneur en sulfure est de moins de 1 % et dont le NP est relativement bas ou négatif.

3.2.2 Test de Production nette d'acide (NAG)

Les tests concernant la NAG utilisent le peroxyde d'oxygène (H₂O₂), un agent fortement oxydant capable d'oxyder rapidement les minéraux sulfurés, afin d'évaluer la capacité d'un échantillon à neutraliser l'acidité potentielle produite par l'oxydation de sulfures. Ce test peut être effectué sur le terrain ou en laboratoire.

Le peroxyde d'oxygène est ajouté à un échantillon broyé, oxydant les sulfures. L'acidité (pH) de la liqueur NAG indique la quantité nette d'acidité non neutralisée produite par unité de poids de l'échantillon. Ce procédé est utilisé pour déterminer la classification de l'échantillon.

Ainsi que montré dans le [Tableau 3-3](#)~~Tableau 3-3~~, un échantillon est défini comme non formateur d'acide (*non-acid forming - NAF*) quand son pH de NAG final est > 4.5. Un

échantillon est défini comme potentiellement formateur d'acide (potentially acid forming - PAF) quand son pH de NAG final est < 4.5.³

Tableau 3-3 : Classification NAG

| Classification | pH de NAG final |
|---|-----------------|
| Non formateur d'acide (NAF) | >4,5 |
| Potentiellement formateur d'acide (PAF) | <4,5 |

Une indication de la forme de l'acidité est fournie en titrant initialement la liqueur NAG à un pH de 4,5 puis en continuant le titrage jusqu'à un pH de 7 en utilisant de l'hydroxyde de sodium (NaOH). La valeur de titrage à un pH de 4,5 comprend l'acidité due à l'acide libre (c'est-à-dire H₂SO₄) ainsi que le fer et l'aluminium solubles. La valeur de titrage à un pH de 7 comprend également des ions métalliques qui précipitent comme hydroxydes à des valeurs de pH comprises entre 4,5 et 7, ainsi que l'acidité du peroxyde d'oxygène. L'acidité issue du peroxyde d'oxygène dépendra du degré de décomposition, mais peut aller jusqu'à 20 kg d'équivalents CaCO₃ par tonne dans chaque test NAG supplémentaire. Comme avec tous les tests en laboratoire, il est important de prendre en considération les différences avec les conditions de terrain lors de l'utilisation de ces données.

3.2.3 pH de pâte

Le pH de pâte fournit une indication sur l'histoire de l'échantillon. En général, 20 g d'échantillon sont mélangés à une quantité égale d'eau et le pH de la pâte ainsi produite est mesuré.

Le pH de pâte est un outil de sélection simple, rapide et peu onéreux qui indique la présence de NP immédiatement disponible (généralement issu du carbonate) ou d'une acidité stockée. Le résultat du test dépend des propriétés superficielles de la matière solide qui fait l'objet du test, et plus particulièrement de l'étendue des minéraux solubles, qui peut fournir des informations utiles concernant la qualité d'eau de mine prévue. Par exemple, des valeurs de pH de pâte acides conjuguées à un soufre sous forme de sulfate élevé indiquent généralement la présence de sels de sulfate acides qui pourraient causer des problèmes de qualité de l'eau à court terme ou à long terme.

3.3 Étape 3

3.3.1 XRF/XRD

Des échantillons sélectionnés ont été soumis à une caractérisation minéralogique de roche entière afin de déterminer si le NP obtenu à partir des tests ABA est réactif ou pas, et d'indiquer le type de sulfure et la matrice de l'échantillon. La caractérisation minéralogique est un outil important de vérification de l'interprétation des autres tests effectués dans le cadre de l'analyse géochimique. La diffraction X (XRD) est utilisée pour identifier les phases cristallines et l'analyse par rayon X de Rietveld permet la quantification des différentes phases présentes.

³ Guide de test ARD - Projet P387A « Prévion et contrôle cinétique du drainage minier acide », AMIRA International Ltd., mai 2002

3.3.2 Procédure de lixiviation par précipitation synthétique (Synthetic Precipitation Leaching Procedure - SPLP)

L'objectif des tests de lixivabilité à court terme est de fournir une indication de la mobilité des différents métaux lorsque les déchets sont exposés à un agent lixiviant. La Procédure de lixiviation par précipitation synthétique (SPLP) élaborée par l'Environmental Protection Agency des États-Unis (US EPA) est utilisée dans cette étude. Cette procédure a été élaborée afin de simuler le lixiviat qui serait produit par des eaux de pluie acides tombant sur un tas de déchets miniers et s'y infiltrant. Les résultats de ce test indiquent si les échantillons peuvent être classés comme dangereux ou non dangereux en vertu des réglementations de l'US EPA. Si l'échantillon est classé comme dangereux, alors il existe des réglementations spécifiques qui régissent l'élimination des matières. Ces résultats peuvent aussi, le cas échéant, servir de base pour prévoir la gamme d'éléments à analyser dans le cadre d'un programme de tests cinétiques. Des détails supplémentaires sur la procédure sont fournis en Annexe B.

4.0 MÉTHODOLOGIE

4.1 Examen de la base de données de lithologie

Une base de données géologique a été fournie avec un code simplifié basé sur une sélection en fonction des deux premiers caractères du code géologique dans la base de données d'origine (code de Bill Bond) et trié pour n'inclure que les sections pertinentes pour la mine concernée par l'évaluation économique préliminaire. Les codes qui en résultent sont :

- MINÉRAL – Minéralisé : tous les échantillons présentant ≥ 0.5 g/t Au
- DÉCHETS : < 0.5 g/t, codés ci-dessous
 - 1_OV_LAT – morts-terrains + latérite
 - 2_SAPROL – saprolite
 - 3_SAPROK – saprock
 - 4_FR_OXI – oxydation de fracture (équivalent de la zone de transition)
 - 5_BAS_VC – volcanique basalte – l'unité dominante (plus de 50 % des intersections échantillonnées)
 - 6_BAS_PO – porphyre basalte
 - 7_GD_POR – granodiorite et autres roches intrusives porphyriques
- AUTRES - autres codes qui ne représentent qu'une petite proportion des mètres échantillonnés.

Les forages étant espacés de manière plutôt régulière, les longueurs échantillonnées ont été utilisées comme indicateurs des volumes relatifs de matières présentes dans la mine. Ces informations ont été utilisées comme guide pour déterminer le nombre d'échantillons par lithologie, comme figurant dans le [Tableau 4-1](#) ~~Tableau 4-1~~.

Tableau 4-1 : Distribution de lithologie et numéros d'échantillons

| Code de lithologie | Somme de longueur (m) | Pourcentage (de TOUT) | Pourcentage (de DÉCHETS) | Nombre d'échantillons |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|
| 1_OV_LAT | 973,00 | 4,65 % | 5,14 % | 6 |
| 2_SAPROL | 2438,19 | 11,66% | 12,89% | 13 |
| 3_SAPROK | 978,51 | 4,68% | 5,17% | 6 |
| 4_FR_OXI | 1306,91 | 6,25% | 6,91% | 7 |
| 5_BAS_VC | 10116,36 | 48,39% | 53,49% | 27 |
| 6_BAS_PO | 2006,02 | 9,60% | 10,61% | 11 |
| 7_GD_POR | 1094,32 | 5,23% | 5,79% | 6 |
| MINÉRAL | 1831,96 | 8,76% | | |
| AUTRES | 160,57 | 0,77% | | |
| Somme (TOUT) | 20905,83 | | | |
| Somme (DÉCHETS) | 18913,31 | | | 76 |

4.2 Sélection des échantillons

Un total de 99 échantillons ont été recueillis par carottage dans le cadre du programme de caractérisation géochimique, parmi lesquels :

- 23 échantillons ont été obtenus aux mêmes emplacements que les échantillons géotechniques afin de prélever des échantillons des matériaux de construction envisagés – ces échantillons seront désignés ici comme les « échantillons de matériaux de construction ».
- 76 échantillons de roches stériles ont été choisis spécifiquement à partir de lithologies de déchets afin de couvrir l'ensemble de la mine à ciel ouvert prévue, c'est-à-dire à la fois la zone minière de la CMA et les zones minières de Yaouré Central, en termes de distribution lithologique spatiale et représentative. Ces échantillons ont été sélectionnés en analysant les sections géologiques ouest-est reproduites dans l'Annexe C.

Le nombre d'échantillons par lithologie à la fois pour les échantillons de roches stériles et les échantillons de matériaux de construction est donné dans le [Tableau 4-2](#). La Figure 4-1 et la Figure 4-2 indiquent les emplacements respectifs des échantillons de roches stériles et de matériaux de construction. Les détails concernant les emplacements, les nombres d'échantillons et la lithologie sont donnés en Annexe D.

Tableau 4-2 : Nombre d'échantillons par lithologie

| Lithologie | Nombre d'échantillons de roches stériles | Nombre d'échantillons de matériaux de construction |
|----------------------|--|--|
| 1_OV_LAT | 6 | 0 |
| 2_SAPROL | 13 | 3 |
| 3_SAPROK | 6 | 0 |
| 4_FR_OXI | 7 | 0 |
| 5_BAS_VC | 27 | 18 |
| 6_BAS_PO | 11 | 2 |
| 7_GD_POR | 6 | 0 |
| Total complet | 76 | 23 |

Figure 4-1 : Emplacements des échantillons de roches stériles

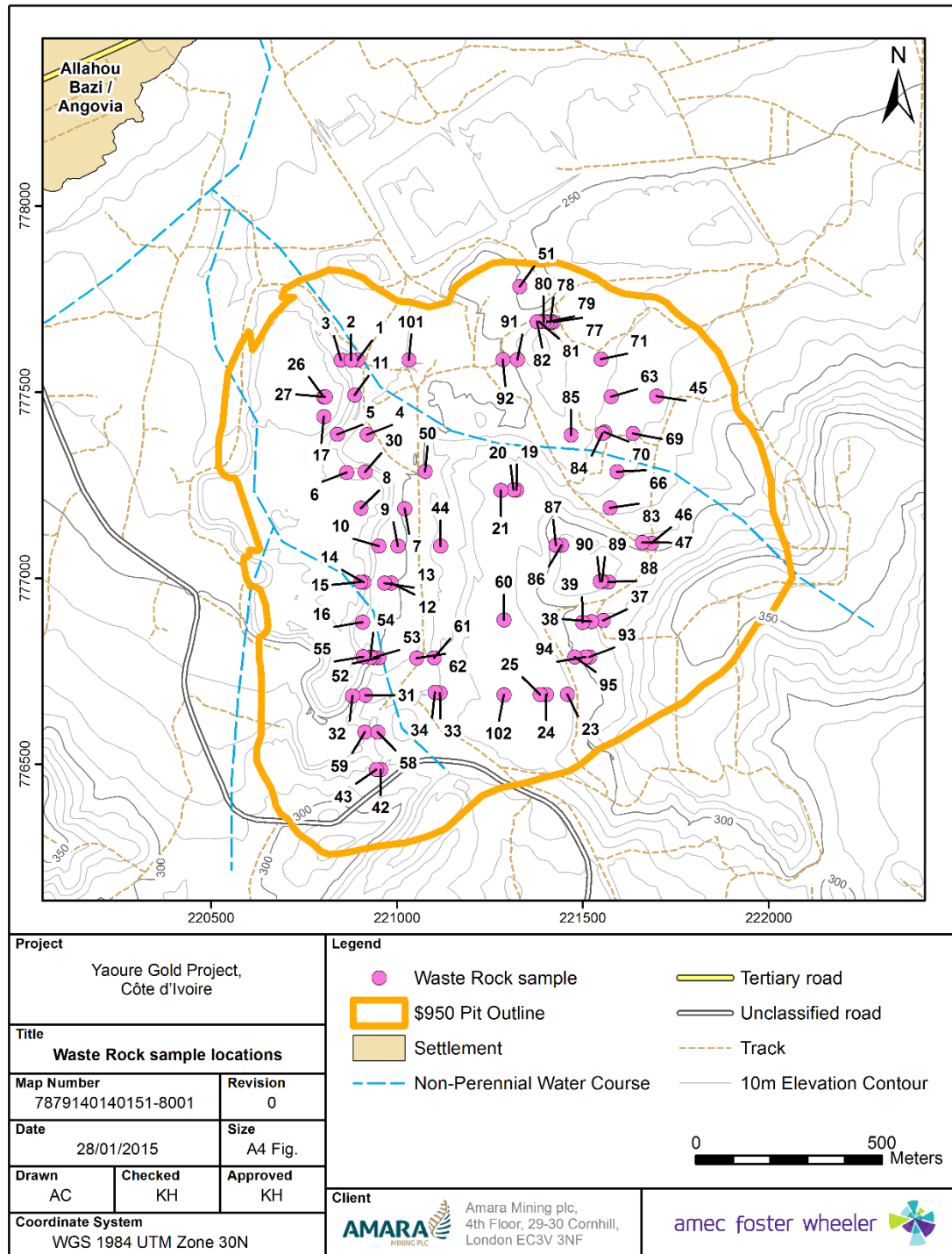
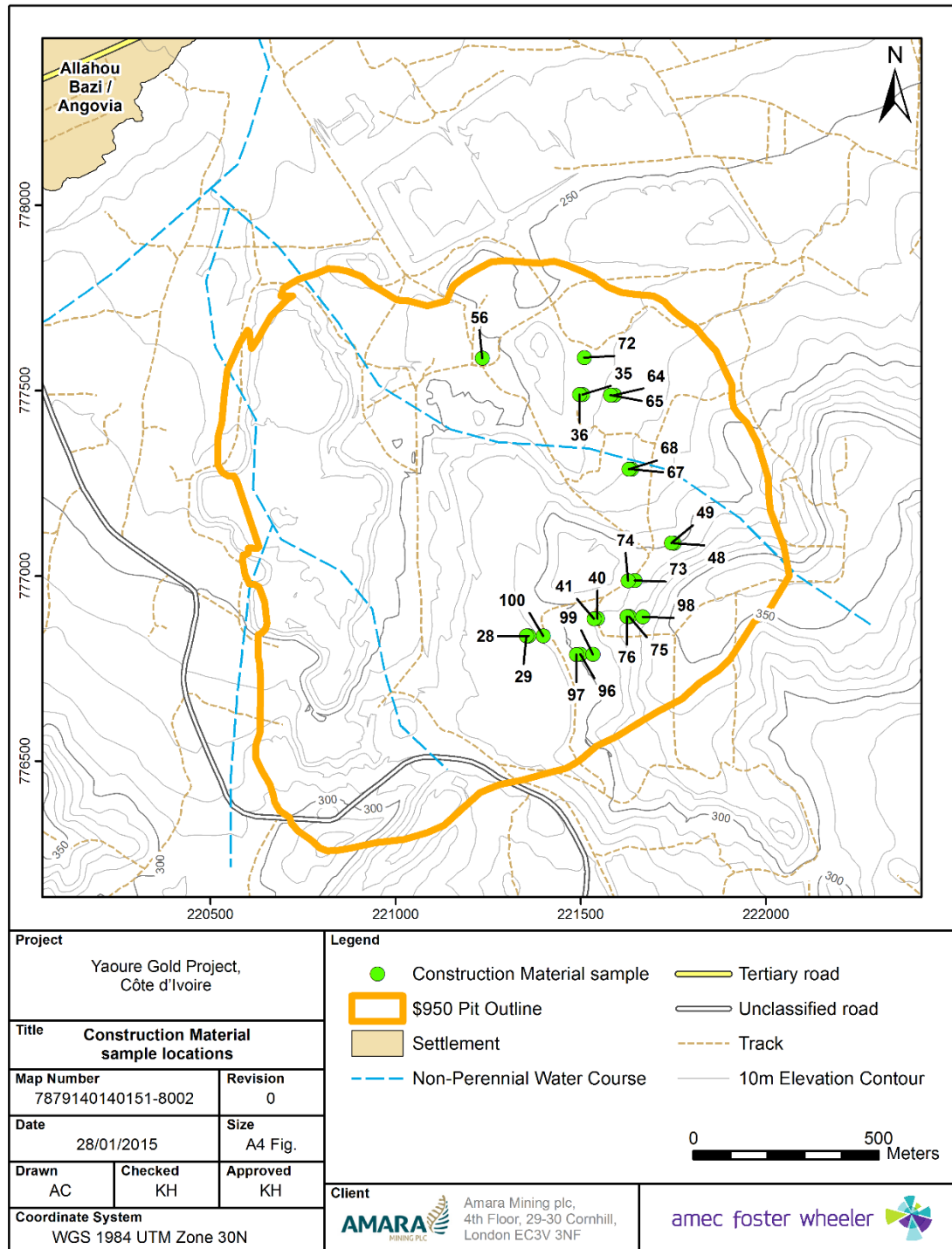


Figure 4-2 : Emplacements des échantillons de matériaux de construction



4.3 Tests sur les échantillons

Les tests concernant Yaouré peuvent être divisés en étapes comme suit :

1. a. Préparation d'échantillon pour tous les échantillons (99)
- b. Soufre total par LECO pour les échantillons de matériaux de construction (23)

- c. Détermination du potentiel acidogène (ABA) (Méthode de Sobel modifiée, Lawrence et Wang) et Production nette d'acide (NAG) pour tous les échantillons de roches stériles, ce qui comprend le Soufre total et le Sulfate total (76)
2. A. Fluorescence X (XRF) (éléments majeurs et traces) pour tous les échantillons de matériaux de construction (23)
 - b. XRF et minéralogie par diffraction X (XRD) (y compris par quantification Rietveld) pour des échantillons de roches stériles sélectionnés (7)
3. Procédure de lixiviation par précipitation synthétique (SPLP) (méthode 1312 de l'US EPA) pour des échantillons de roches stériles sélectionnés (7)

Six échantillons de résidus ont été réalisés à la suite de tests métallurgiques et ont été soumis aux tests ABA, NAG, XRF et SPLP, ainsi qu'aux tests de minéralogie par XRD (y compris par quantification Rietveld).

4.4 Logistique

Les échantillons de roches stériles et de matériaux de construction ont été expédiés par la société Amara au laboratoire SGS de Cornouaille, qui a effectué la préparation des échantillons, le soufre total par test LECO® et les tests ABA et NAG.

À la suite de ces tests, des échantillons ont été acheminés aux laboratoires de la Royal Holloway University of London (RHUL), où ils ont été préparés pour des analyses XRF et XRD, et la procédure de lixiviation SPLP a été effectuée à partir de lixiviats envoyés aux laboratoires ALcontrol.

Six échantillons de résidus ont été fournis suite aux tests aux laboratoires Wardell Armstrong en Cornouaille, au Royaume-Uni. Ces échantillons de résidus ont été séchés et préparés à SGS où ils ont ensuite été séparés ; SGS a alors effectué des tests ABA et NAG, et RHUL a effectué des analyses XRF et XRD et une lixiviation SPLP. Le lixiviat SPLP a été analysé par ALcontrol.

4.5 Laboratoires

SGS Minerals Services UK Ltd

Wheal Jane, Truro
Cornwall, UK, TR3 6EE

RHUL Laboratories

Department of Earth Sciences
Royal Holloway, University of London
Egham, Surrey TW20 0EX, UK

ALcontrol Laboratories

Hawarden Business Park, Manor Road,
Flintshire, UK, CH5 3US

4.6 Résumé

Un résumé des informations logistiques est fourni dans le [Tableau 4-3](#) ~~Tableau 4-3~~.

Tableau 4-3 : Résumé des nombres d'échantillons et des laboratoires utilisés pendant l'étude

| | Tests | Laboratoire | Nombre d'échantillons |
|---|-------------------------------|--------------|-----------------------|
| Échantillons de matériaux de construction | Préparation des échantillons | SGS Cornwall | 23 |
| | Soufre total par LECO® | SGS Cornwall | 23 |
| | XRF | RHUL | 23 |
| Échantillons de roches stériles | Préparation des échantillons | SGS Cornwall | 76 |
| | ABA | SGS Cornwall | 76 |
| | NAG | SGS Cornwall | 76 |
| | XRF | RHUL | 7 |
| | XRD | RHUL | 7 |
| | Procédure de lixiviation SPLP | RHUL | 7 |
| | Analyse de lixiviat de SPLP | ALcontrol | 7 |
| Échantillons de résidus | Préparation des échantillons | SGS Cornwall | 6 |
| | ABA | SGS Cornwall | 6 |
| | NAG | SGS Cornwall | 6 |
| | XRF | RHUL | 6 |
| | XRD | RHUL | 6 |
| | Procédure de lixiviation SPLP | RHUL | 6 |
| | SPLP | ALcontrol | 6 |

5.0 RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les certificats de résultats de laboratoire sont fournis en Annexes E (SGS), F (RHUL) et G (ALcontrol).

5.1 Échantillons de roches stériles

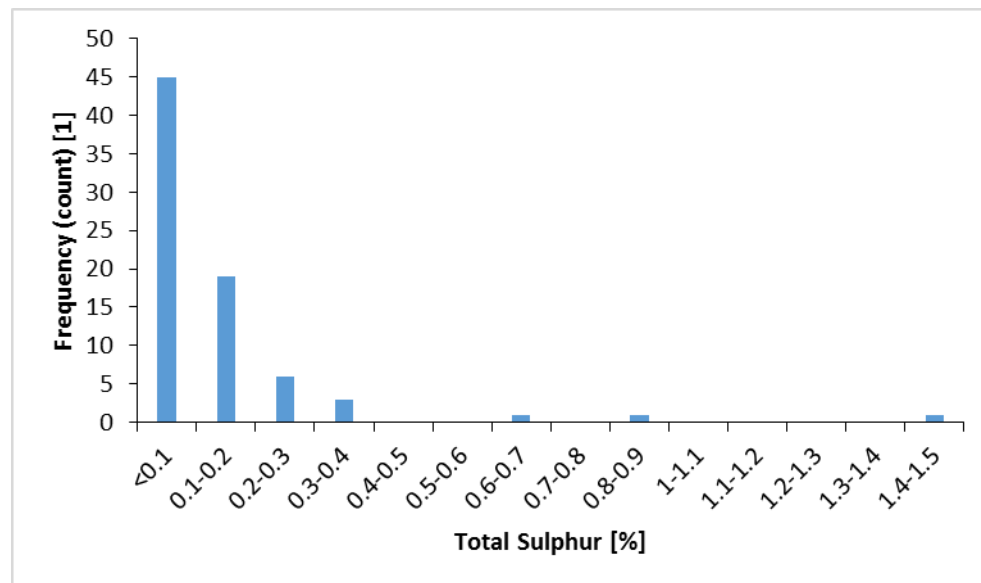
5.1.1 ABA et NAG

Les 76 échantillons de roches stériles ont été soumis à des tests ABA et NAG et font l'objet d'une discussion dans la Section 3.2.

Soufre total

Le soufre total est mesuré dans le cadre des résultats ABA et NAG pour les 76 échantillons de roches stériles. Un histogramme des données générales est présenté dans la Figure 5-1. Les mêmes données sont indiquées en fonction de la lithologie dans la Figure 5-2.

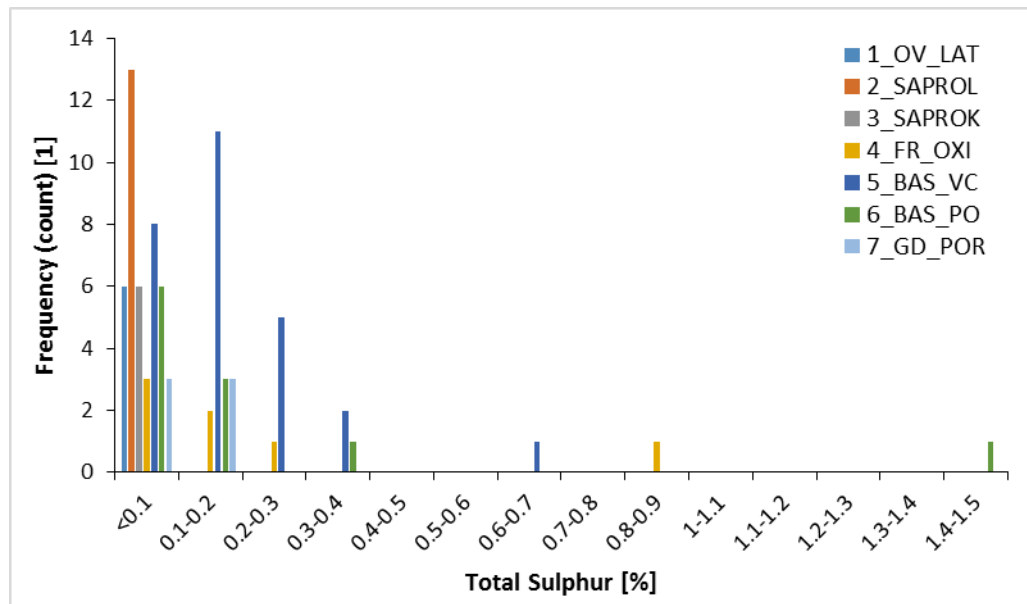
Figure 5-1: Histogramme indiquant les résultats de soufre total pour les échantillons de roches stériles.



59 % (45/76) des échantillons de roches stériles avaient un soufre total <0,1%. Il s'agit de l'un des critères de classification des déchets inertes de l'UE⁴.

⁴ Décision de la commission de l'UE du 30 avril 2009 complétant la définition des déchets inertes dans la mise en œuvre de l'Article 22(1) (f) de la Directive 2006/21/EC du Parlement européen et du Conseil relative à la gestion des déchets issus des secteurs de l'extraction (*notifié sous le numéro de document C(2009) 3012*) (2009/359/EC).

Figure 5-2 : Histogramme indiquant les résultats de soufre total par lithologie pour les échantillons de roches stériles.

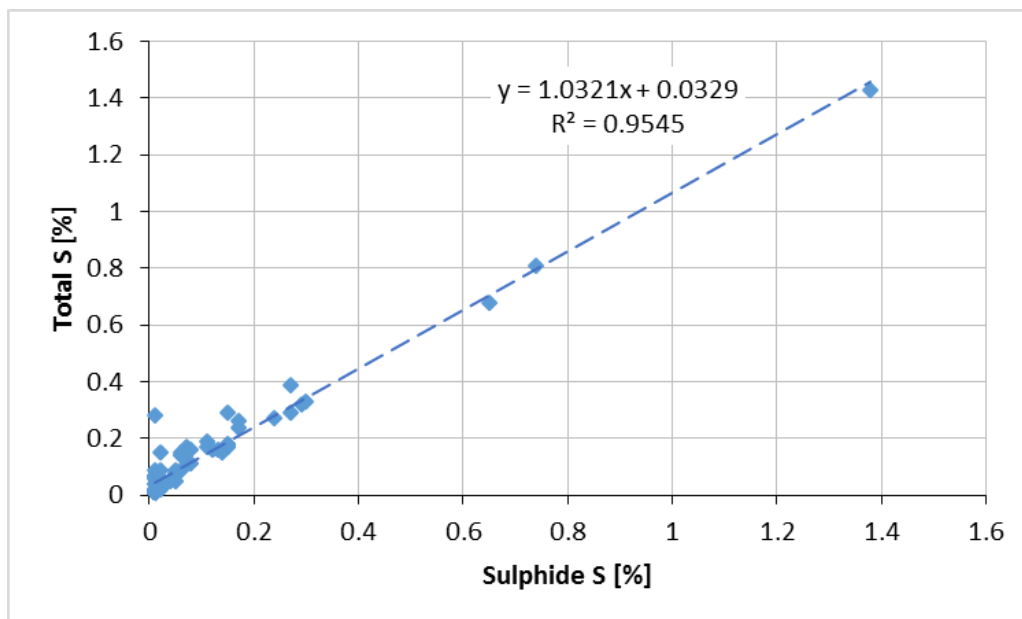


Pour les échantillons de roches stériles, en termes de lithologie, les échantillons codés comme 1_OV_LAT, 2_SAPROL et 3_SAPROK avaient tous un soufre total <0,1 %, indiquant qu'ils étaient peu susceptibles de causer un drainage acide. Les autres lithologies présentaient des échantillons dont le soufre total était >0,1 % avec une lithologie 5_BAS_VC présentant un pic notable dans les échantillons dont le soufre total était compris entre 0,1 % et 0,3 %. Les résultats de soufre total les plus élevés se trouvaient dans les lithologies 5_BAS_VC (0,68%), 4_FR_OXI (0,81%) et 6_BAS_PO (1,43%).

Soufre sous forme de sulfure

Une forte corrélation est apparue entre le soufre total et le soufre sous forme de sulfure, ainsi que le montre la Figure 5-3, ce qui suggère que le soufre total peut être utilisé comme un indicateur satisfaisant du soufre sous forme de sulfure.

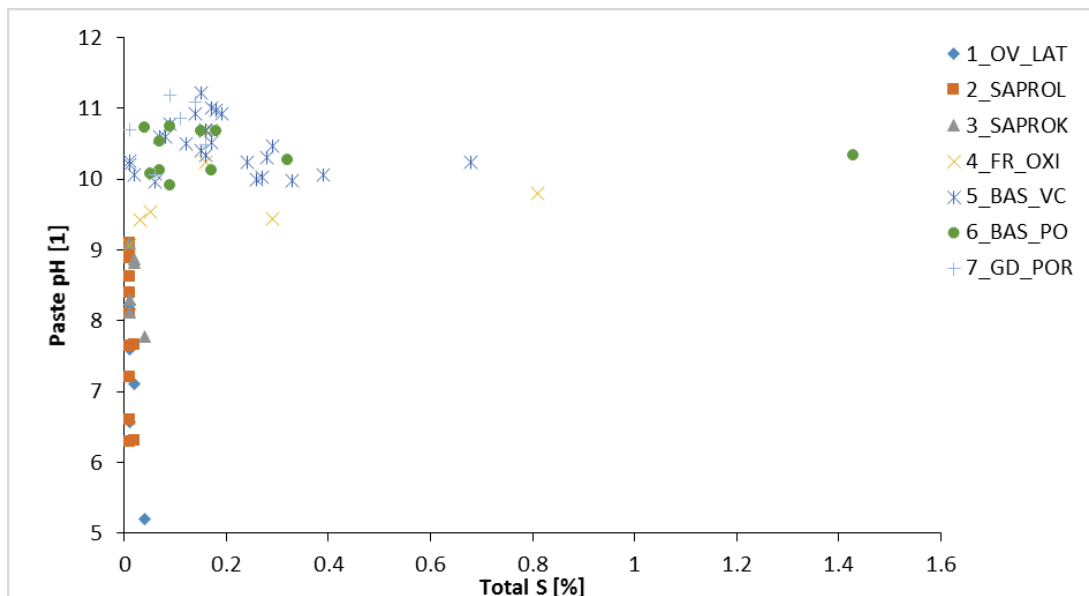
Figure 5-3: Graphique montrant une corrélation satisfaisante entre le soufre total et le soufre sous forme de sulfure.



pH de pâte

Les résultats de pH de pâte sont montrés sous forme graphique dans la Figure 5-4. La valeur moyenne de pH de pâte pour les 76 échantillons a été de 9,54 avec une valeur médiane de 10,07, un minimum de 5,20 et un maximum de 11,20.

Figure 5-4 : Résultats de pH de pâte rapportés au soufre total par lithologie pour les échantillons de roches stériles.



Comme on peut le voir dans la Figure 5-4, les échantillons dont le soufre total était >0.1% avaient tous des résultats de pH de pâte >9. Les échantillons ayant un pH de pâte <9 avaient tous un soufre total bas et proviennent des lithologies dont on

s'attendrait à ce qu'elles soient oxydées, et donc susceptibles de contenir principalement du sulfate plutôt que du sulfure ; il s'agit de 1_OV_LAT, 2_SAPROL et 3_SAPROK.

Les valeurs de pH de pâte élevées indiquent que les échantillons ont été entreposés/manipulés correctement et que s'ils contiennent des sulfures, ceux-ci ne sont pas oxydés au contact de la solution.

ABA - NNP

Le critère NNP est considéré comme l'outil d'évaluation le plus pertinent pour la classification de ces échantillons. Comme présenté dans la Figure 5-5 et dans le [Tableau 5-1](#) ~~Tableau 5-4~~, 7 sur 76 résultats NNP ont été classés comme « Incertains », avec des NNP compris entre -20 et +20 et un soufre total >0.1%, le reste étant classé comme « non potentiellement acidogène » (non PAG). Aucun échantillon n'a été classé comme « potentiellement acidogène » (NNP <-20, soufre total >0.1%). Cela indique la présence possible de minéraux neutralisants suffisants pour neutraliser tous les acides pouvant être produits.

Figure 5-5 : Résultats de NNP rapportés au soufre total par lithologie pour les 76 échantillons de roches stériles.

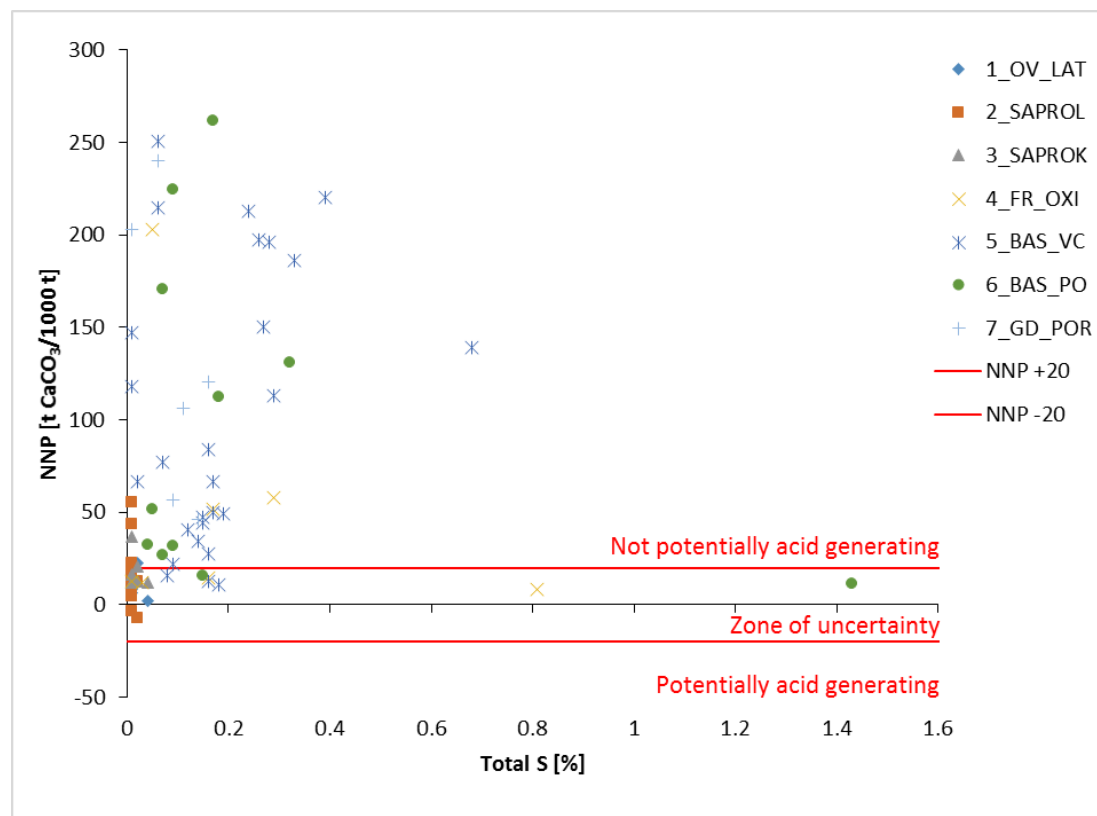


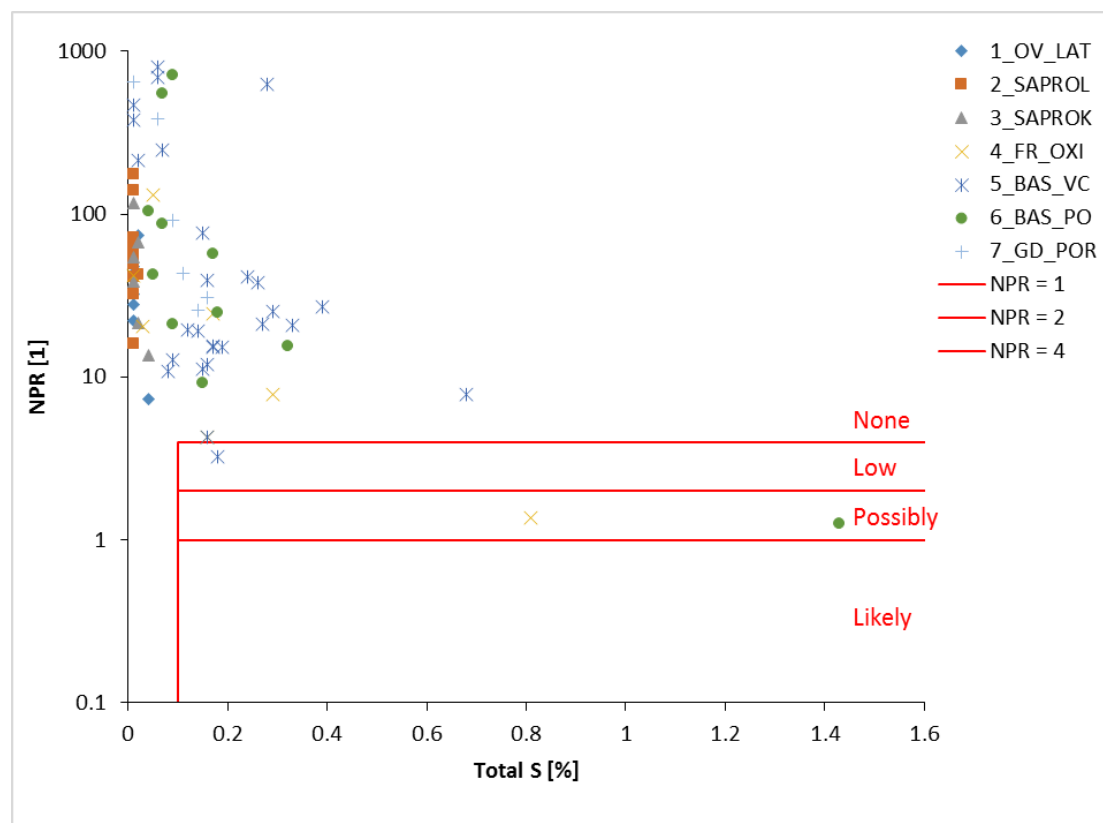
Tableau 5-1 : Résumé des résultats ABA NNP par lithologie.

| Lithologie | Non PAG | Incertain | Total |
|--------------|-----------|-----------|-----------|
| 1_OV_LAT | 6 | | 6 |
| 2_SAPROL | 13 | | 13 |
| 3_SAPROK | 5 | 1 | 6 |
| 4_FR_OXI | 5 | 2 | 7 |
| 5_BAS_VC | 25 | 2 | 27 |
| 6_BAS_PO | 9 | 2 | 11 |
| 7_GD_POR | 6 | | 6 |
| Total | 69 | 7 | 76 |

ABA - NPR

Les résultats ABA NPR sont présentés graphiquement dans la Figure 5-6 et résumés dans le [Tableau 5-2](#) ~~Tableau 5-2~~. Les deux échantillons qui ressortent dans les résultats NNP avec un soufre total élevé et une classification incertaine pour le potentiel d'ARD sont classés ici comme échantillons acidogènes « possibles » (NPR entre 1 et 2).

Figure 5-6 : Résultats ABA NPR rapportés au soufre total pour les échantillons de roches stériles.



NB : Deux échantillons présentant des NP négatifs et donc un NPR négatif avec un soufre total <0,01 % ne figurent pas dans ce graphique.

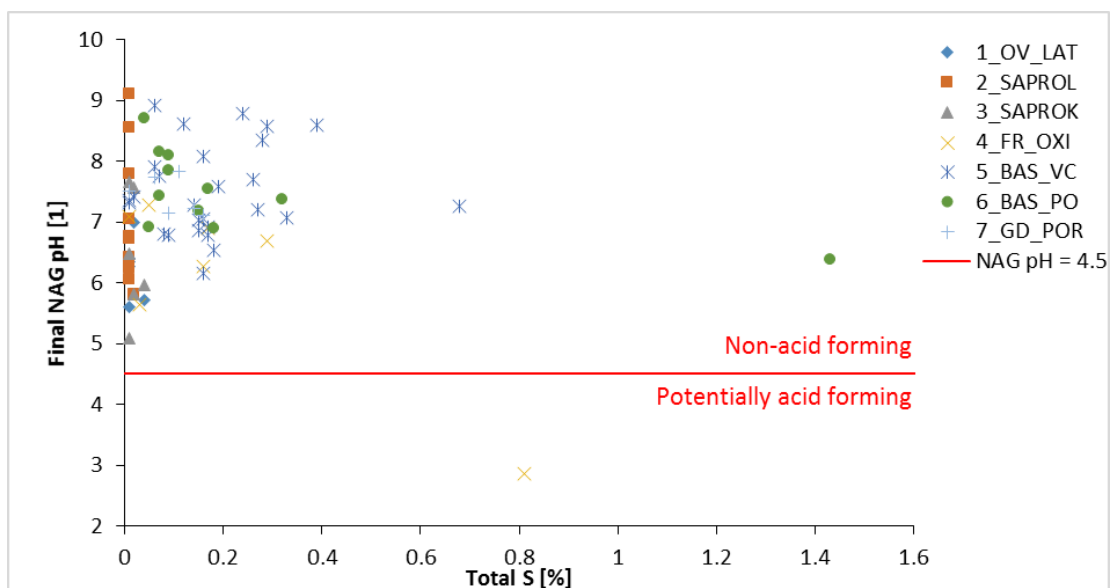
Tableau 5-2 : Résumé des résultats ABA NPR par lithologie.

| Lithologie | Aucun | Bas | Possible | Total |
|--------------|-----------|----------|----------|-----------|
| 1_OV_LAT | 6 | | | 6 |
| 2_SAPROL | 13 | | | 13 |
| 3_SAPROK | 6 | | | 6 |
| 4_FR_OXI | 6 | | 1 | 7 |
| 5_BAS_VC | 26 | 1 | | 27 |
| 6_BAS_PO | 10 | | 1 | 11 |
| 7_GD_POR | 6 | | | 6 |
| Total | 73 | 1 | 2 | 76 |

Classification NAG

Seul un échantillon (lithologie 4_FR_OXI, Soufre sous forme de sulfure 0.74%) avait un pH de NAG final entraînant sa classification comme « potentiellement formateur d'acide » (pH de NAG final <4,5), ainsi que montré dans la Figure 5-7. Les 75 échantillons restants ayant été analysés ont été classés comme « Non formateurs d'acide ».

Figure 5-7 : pH de NAG final rapporté au soufre total pour les échantillons de roches stériles. Seul un échantillon a été considéré comme potentiellement formateur d'acide avec un pH de NAG de 2,86.



Bien que les résultats de NAG indiquent que l'échantillon présentant 1,43 % de soufre total (lithologie 6_BAS_PO) n'est pas acidogène, il faut garder à l'esprit qu'un test NAG en une seule étape a été effectué, et que pour des échantillons ayant un soufre total >1 %, un NAG séquentiel est recommandé, étant donné l'éventualité que le potentiel acide complet n'ait pas été réalisé.

En se basant sur ces résultats, sept échantillons - comme cela est détaillé dans le [Tableau 5-3](#) ont été sélectionnés à partir des échantillons de roches stériles pour des analyses supplémentaires par XRF, XRD et SPLP afin de caractériser les différentes lithologies et de couvrir la gamme de teneur en soufre de tous les échantillons testés.

Tableau 5-3 : Informations détaillées sur les échantillons de roches stériles sélectionnés pour analyses supplémentaires.

| Réf. de l'échantillon | Lithologie | Forage | Soufre total [%] |
|-----------------------|------------|---------|------------------|
| 003 | 7_GD_POR | YDD0031 | 0,11 |
| 046 | 6_BAS_PO | YDD0095 | 0,09 |
| 051 | 2_SAPROL | YDD0105 | 0,01 |
| 059 | 5_BAS_VC | YDD0121 | 0,68 |
| 062 | 6_BAS_PO | YDD0130 | 1,43 |
| 066 | 5_BAS_VC | YDD0137 | 0,16 |
| 086 | 4_FR_OXI | YDD0151 | 0,16 |

5.1.2 Analyse de roche entière

Résultats XRF

Les résultats XRF concernant les éléments oxydes majeurs et les éléments traces sont fournis respectivement au [Tableau 5-4](#) et [Tableau 5-5](#) pour les échantillons de roches stériles.. Des valeurs élevées de perte au feu (*loss on ignition - LOI*) sont liées à des contenus hautement volatiles (par exemple l'eau et le dioxyde de carbone) et à une haute teneur en fer ferreux.

Tableau 5-4 : Résultats XRF concernant les oxydes majeurs pour les sept échantillons de roches stériles (%)

| Réf. de l'échantillon | 003 | 046 | 051 | 059 | 062 | 066 | 086 | Moyenne de la croûte terrestre ⁵ |
|--------------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---|
| Lithologie | 7 GD_POR | 6 BAS_PO | 2 SAPROL | 5 BAS_VC | 6 BAS_PO | 5 BAS_VC | 4 FR_OXI | |
| SiO ₂ | 61,01 | 51,79 | 51,53 | 44,82 | 47,89 | 48,81 | 48,90 | 59,07 |
| TiO ₂ | 0,48 | 1,02 | 1,23 | 0,98 | 1,03 | 1,09 | 0,82 | 1,03 |
| Al ₂ O ₃ | 14,00 | 14,42 | 17,17 | 12,78 | 13,67 | 14,33 | 14,15 | 15,22 |
| Fe ₂ O ₃ | 4,84 | 13,67 | 16,71 | 12,88 | 13,68 | 14,82 | 12,48 | 3,1 |
| MnO | 0,05 | 0,21 | 0,32 | 0,19 | 0,19 | 0,22 | 0,19 | |
| MgO | 2,65 | 7,49 | 1,92 | 6,26 | 6,24 | 6,77 | 7,62 | 3,45 |
| CaO | 4,60 | 11,16 | 0,71 | 11,26 | 10,98 | 9,86 | 9,67 | 5,1 |
| K ₂ O | 1,26 | 0,14 | 0,07 | 0,32 | 0,07 | 0,09 | 0,25 | 3,11 |
| Na ₂ O | 3,89 | 2,10 | 0,04 | 1,10 | 1,56 | 1,85 | 2,38 | 3,71 |
| P ₂ O ₅ | 0,19 | 0,09 | 0,07 | 0,08 | 0,09 | 0,09 | 0,07 | 0,3 |
| Somme | 93,0 | 102,1 | 89,8 | 90,7 | 95,4 | 97,9 | 96,5 | |
| LOI | 7,0 | -2,1 | 10,2 | 9,3 | 4,6 | 2,1 | 3,5 | |

La teneur moyenne de la croûte terrestre a été intégrée au [Tableau 5-4](#) afin de placer la composition des échantillons en contexte. La granodiorite (échantillon 003) montre en règle générale une composition semblable à celle de la croûte terrestre et par conséquent une exposition à l'atmosphère ne devrait pas entraîner de modification significative dans la composition de cette matière. En ce qui concerne le reste des échantillons testés, la silice, le sodium, le potassium et le phosphore sont en dessous de la moyenne, tandis qu'en général le fer et le calcium sont au-dessus de la composition moyenne. La haute concentration en calcium viendrait appuyer les résultats des tests ABA qui laissent penser qu'un très petit pourcentage d'échantillons sont potentiellement formateurs d'acide.

⁵ Extrait de Levinson, A A, 1974. *Introduction to Exploration Geochemistry*. Reproduit dans *Field Geologists' Manual*, édité par l'Institut australien de la métallurgie, 4^{ème} éd., 2001.

Tableau 5-5 : Résultats de test XRF concernant les éléments trace pour les sept échantillons de roches stériles (valeurs en ppm sauf indication contraire).

| Réf. de l'échantillon | 003 | 046 | 051 | 059 | 062 | 066 | 086 | Moyenne de la croûte terrestre ⁵ |
|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---|
| Lithologie | 7 GD_POR | 6 BAS_PO | 2 SAPROL | 5 BAS_VC | 6 BAS_PO | 5 BAS_VC | 4 FR_OXI | |
| As | 18 | 10 | 6 | <5 | 16 | <5 | 5 | 1,8 |
| Ba | 685 | 34 | 341 | 39 | 37 | 37 | 44 | 425 |
| Bi | 5 | 5 | 6 | 4 | 6 | 6 | 6 | 0,17 |
| Ce | 58 | 19 | 34 | 26 | 14 | 21 | 27 | 60 |
| Cl (%) | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,013 |
| Co | 13 | 37 | 49 | 36 | 38 | 40 | 36 | 25 |
| Cr | 108 | 231 | 233 | 214 | 208 | 218 | 232 | 100 |
| Cu | 12 | 103 | 148 | 88 | 104 | 99 | 109 | 55 |
| Ga | 16 | 12 | 21 | 14 | 15 | 16 | 14 | 15 |
| Ge | 3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 1,5 |
| Hf | 6 | 4 | 4 | <3 | <3 | 7 | 3 | 3 |
| I | 9 | 7 | <2 | 6 | 3 | 2 | 5 | 0,5 |
| La | 23 | <5 | 15 | <5 | <5 | <5 | <5 | 30 |
| Mo | <2 | <2 | 6 | 2 | 5 | 3 | 6 | 1,5 |
| Nb | 5 | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | 3 | 20 |
| Ni | 50 | 116 | 145 | 111 | 95 | 100 | 129 | 75 |
| Pb | 6 | 3 | 2 | 3 | 0,9 | <1 | 5 | 12,5 |
| Rb | 34 | 3 | 2 | 11 | 1 | 2 | 10 | 90 |
| S (%) | <0,005 | 0,009 | <0,005 | 0,128 | 0,095 | 0,055 | 0,054 | |
| Sb | 15 | <2 | 6 | 4 | 4 | 2 | 8 | 0,2 |
| Sc | 24 | <15 | 243 | <15 | <15 | <15 | <15 | 16 |
| Se | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 0,05 |
| Sn | 10 | 11 | 9 | 8 | 10 | 13 | 13 | 2 |
| Sr | 369 | 134 | 16 | 108 | 127 | 127 | 126 | 375 |
| Th | 12 | 8 | 8 | 8 | 9 | 8 | 5 | 10 |
| U | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 2,7 |
| V | 86 | 298 | 398 | 324 | 305 | 323 | 276 | 135 |
| W | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | <3 | 1,5 |
| Y | 11 | 22 | 47 | 22 | 25 | 25 | 19 | 30 |
| Zn | 40 | 89 | 318 | 93 | 93 | 99 | 87 | 70 |
| Zr | 109 | 60 | 83 | 61 | 62 | 64 | 50 | 165 |

Les échantillons de roches stériles ont présenté des teneurs élevées en As, Bi I et Sb par rapport à la croûte terrestre, ce qui indique qu'ils pourraient constituer des éléments préoccupants du point de vue environnemental, Cr et V étant également élevés dans tous les échantillons sauf la granodiorite (003). La limite de détection (*Limit of Detection - LoD*) concernant Se était trop élevée par rapport à la moyenne de la croûte terrestre pour permettre de parvenir à une conclusion.

Minéralogie (Quantification XRD de Rietveld)

Un certain nombre de pics dans les traces WRD (voir Figure 5-8) montrent clairement que la minéralogie des échantillons est complexe. Néanmoins, la minéralogie est principalement dominée par le feldspath plagioclase, la chlorite, l'amphibole, la calcite et le mica-K (avec des teneurs moindres en pyroxène, en hématite et en quartz dans certains échantillons).

Concernant la classification, des minéraux supplémentaires ont été identifiés et intégrés aux calculs. Le pourcentage de poids des minéraux présents, issu de la quantification de

Rietveld, est donné au [Tableau 5-6](#) ~~Tableau 5-6~~. Il faut noter que les valeurs sous environ 4 % sont moins précises et que la présence des phases données comme inférieures à 1 % est incertaine. Le feldspath plagioclase a été modélisé comme l'albite et l'andésine ; le feldspath-K comme l'orthose ; l'amphibole comme l'actinolite ; et le mica-K comme la muscovite et la biotite.

Figure 5-8 : Traces XRD pour les sept échantillons de roches stériles.

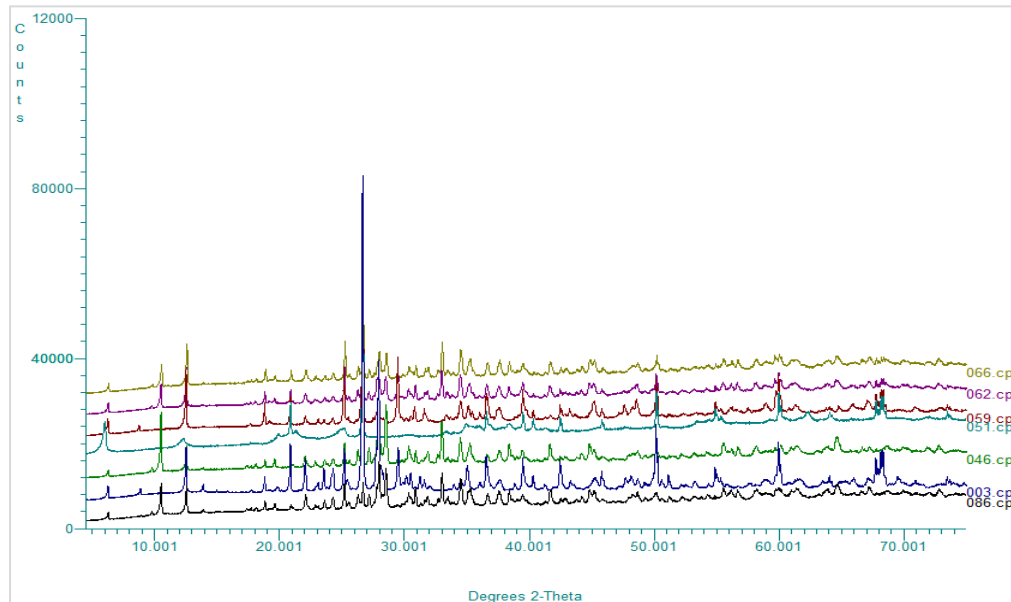


Tableau 5-6 : Résultats de minéralogie XRD par quantification Rietveld pour les sept échantillons de roches stériles.

| Réf. de l'échantillon | 003 | 046 | 051 | 059 | 062 | 066 | 086 |
|-----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Lithologie | 7 GD_POR | 6 BAS_PO | 2 SAPROL | 5 BAS_VC | 6 BAS_PO | 5 BAS_VC | 4 FR_OXI |
| Quartz | 19,3 | 2,4 | 20,3 | 16,8 | 7,3 | 5,8 | 2,2 |
| Graphite | 7,0 | 0,6 | 6,7 | 8,8 | 4,6 | 2,8 | 0,9 |
| Albite | 39,1 | 30,0 | 3,2 | 15,2 | 20,4 | 22,6 | 29,6 |
| Andésine | 0,2 | 2,5 | 0,0 | 0,0 | 2,5 | 0,0 | 0,0 |
| Muscovite | 7,0 | 0,0 | 0,0 | 2,5 | 2,1 | 2,3 | 3,1 |
| Biotite | 0,7 | 0,3 | 1,5 | 3,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Calcite | 8,8 | 0,9 | 0,1 | 19,5 | 9,3 | 1,5 | 1,2 |
| Kaolinite | 0,9 | 0,4 | 28,5 | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Orthose | 0,0 | 2,1 | 0,0 | 3,1 | 3,0 | 3,5 | 4,7 |
| Grenat (Ca-Fe) | 0,7 | 2,1 | 0,7 | 3,5 | 2,0 | 2,6 | 2,8 |
| Pyroxène, ortho | 10,1 | 4,0 | 0,0 | 0,5 | 1,2 | 1,7 | 4,6 |
| Hématite | 0,0 | 0,0 | 2,9 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Pyrite | 0,0 | 4,4 | 0,0 | 0,6 | 3,1 | 4,0 | 4,1 |
| Jarosite | 0,6 | 0,6 | 1,1 | 1,1 | 0,7 | 0,8 | 0,5 |
| Actinolite | 0,0 | 35,2 | 0,0 | 1,6 | 27,2 | 32,4 | 31,4 |
| Chlorite | 5,4 | 14,6 | 34,8* | 22,7 | 15,7 | 19,0 | 14,0 |

* Smectite (montmorillonite) présente en abondance et intégrée à cette figure, peut-être comme phase de couches mélangées.

La minéralogie des échantillons de roches stériles analysées par XRD est dominée par des silicates ferromagnésiens (amphibole, chlorite, mica) et par le feldspath plagioclase. Certains échantillons contiennent également des quantités élevées de calcite, de

kaolinite et d'autres silicates. Cette observation est renforcée par les analyses chimiques XRF qui montrent des teneurs élevées en Fe, Mg, Ca, Al et Si.

Il existe des divergences entre la teneur en pyrite dérivée par Rietveld et celle issue des déterminations de soufre total. Si on suppose que les analyses de soufre total sont correctes, alors l'analyse Rietveld sur-évalue la teneur en pyrite pour les échantillons 046 (6_BAS_PO), 066 (5_BAS_VC) et 086 (4_FR_OXI). En règle générale, l'exactitude de Rietveld autour d'une teneur de 4 % est moins fiable, comme relevé précédemment.

Différents minéraux relâchent leur potentiel de neutralisation à des taux différents. Les carbonates et les silicates d'aluminium à dégradation rapide sont susceptibles de maintenir un pH neutre s'ils sont présents en quantité suffisante. La minéralogie décrite dans le [Tableau 5-6](#) est cohérente avec un nombre limité d'échantillons présentant un potentiel de production acide. La granodiorite (échantillon réf 003), ainsi que la volcanique et la porphyre basaltes (échantillons réf 059 et 062) ont des proportions de calcite relativement élevées par comparaison avec la teneur moyenne en soufre sous forme de sulfure pour les échantillons testés, et par conséquent cela confirme que ces échantillons ne sont pas formateurs d'acide.

Les échantillons réf 046, 066 et 086 contiennent plus de 70 % d'albite, d'actinolite et de chlorite. Bien que ces minéraux ne soient pas à dégradation rapide, ils sont susceptibles de relâcher de l'alcalinité dans le système. Par conséquent, même si ces échantillons contiennent le niveau de pyrite tel que calculé par Rietveld, il n'y a pas lieu de s'attendre à une production acide significative.

L'échantillon de saprolite (réf. 051) n'a pas de potentiel de production d'acidité et contient des quantités significatives de minéraux argileux.

5.1.3 Lixiviat de SPLP

Le [Tableau 5-7](#) présente les résultats de pH et de conductivité du lixiviat de SPLP. Les lixiviats de SPLP étaient de pH alcalin. Le [Tableau 5-8](#) présente les résultats de la gamme ICP multiéléments pour le lixiviat, avec les limites de l'US EPA pour les métaux essentiels⁶.

Tableau 5-7 : Résultats de pH et de conductivité du lixiviat de SPLP pour les sept échantillons de roches stériles.

| Échantillon | pH | Conductivité (µS/cm) |
|-------------|-----|----------------------|
| 003 | 8,4 | 135 |
| 046 | 8,8 | 80 |
| 051 | 7,9 | 40 |
| 059 | 8,1 | 90 |
| 062 | 7,9 | 135 |
| 066 | 8,2 | 85 |
| 086 | 8,3 | 80 |

⁶ US EPA SW846 Méthodes de test pour l'évaluation des déchets solides, méthodes physiques/chimiques - Méthode 1312

Tableau 5-8 : Résultats de l'analyse du lixiviat de SPLP pour les sept échantillons de roches stériles.

| | Unités | LOD | 003 | 046 | 051 | 059 | 062 | 066 | 086 | US EPA ⁶ |
|-------------------------------|--------|--------|--------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|---------------------|
| Fluorure | mg/l | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | |
| Sulfate | mg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | |
| Chlorure | mg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | |
| Nitrate comme NO ₃ | mg/l | <0,3 | 0,335 | <0,3 | 3,58 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | |
| Aluminium | µg/l | <2,9 | 657 | 820 | 421 | 556 | 572 | 653 | 330 | |
| Mercure | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | 0,0135 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | |
| Antimoine | µg/l | <0,16 | 1,18 | <0,16 | <0,16 | 1,38 | 1,05 | 0,811 | 0,488 | |
| Calcium | mg/l | <0,012 | 6,56 | 7,66 | 3,58 | 10,2 | 8,49 | 8,84 | 8,6 | |
| Arsenic | µg/l | <0,12 | 10,8 | 1,87 | 0,281 | 0,325 | 1,01 | 0,38 | 0,877 | 5 000 |
| Sodium | mg/l | <0,076 | 2,14 | 1,51 | 2,1 | 1,14 | 1,2 | 1,21 | 1,74 | |
| Baryum | µg/l | <0,03 | 41,1 | 1,86 | 0,988 | 4,43 | 1,75 | 0,835 | 7,45 | 100 000 |
| Magnésium | mg/l | <0,036 | 0,617 | 1,29 | 1,53 | 1,18 | 1,12 | 1,25 | 1,75 | |
| Béryllium | µg/l | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | |
| Potassium | mg/l | <1 | 1,67 | <1 | <1 | 3,45 | <1 | <1 | <1 | |
| Argent | µg/l | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | |
| Fer | mg/l | <0,019 | <0,019 | 0,62 | 0,148 | <0,019 | <0,019 | 0,167 | 0,104 | |
| Bore | µg/l | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | |
| Cadmium | µg/l | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1 000 |
| Chrome | µg/l | <0,22 | 12 | 9,71 | 9,05 | 8,34 | 1,51 | 1,88 | 1,85 | |
| Cobalt | µg/l | <0,06 | <0,06 | 0,278 | 0,117 | <0,06 | <0,06 | 0,097 | 0,076 | |
| Cuivre | µg/l | <0,85 | <0,85 | 1,63 | 1,73 | 1,12 | <0,85 | <0,85 | <0,85 | |
| Plomb | µg/l | <0,02 | <0,02 | 0,036 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,1 | 5 000 |
| Manganèse | µg/l | <0,04 | 0,82 | 8,34 | 4,69 | 5,47 | 1,24 | 3,08 | 2,35 | |
| Molybdène | µg/l | <0,24 | <0,24 | <0,24 | 0,732 | <0,24 | 0,41 | 0,274 | 10,5 | |
| Nickel | µg/l | <0,15 | <0,15 | 0,854 | 0,8 | 0,19 | 0,23 | 0,316 | 0,579 | |
| Phosphore | µg/l | <6,3 | <6,3 | 34,1 | <6,3 | 31,8 | 7,23 | 18,2 | 14,3 | |
| Sélénium | µg/l | <0,39 | 0,531 | 0,404 | 0,573 | <0,39 | 0,614 | 0,639 | 0,708 | |
| Strontium | µg/l | <0,05 | 59,1 | 10,3 | 9,86 | 22 | 10,2 | 27 | 10,3 | |
| Tellure | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | |
| Thallium | µg/l | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | |
| Étain | µg/l | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | |
| Uranium | µg/l | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | |
| Titane | µg/l | <1,5 | <1,5 | 21,2 | 9,34 | <1,5 | <1,5 | 7,63 | 5,33 | |
| Vanadium | µg/l | <0,24 | 1,42 | 6,21 | 2,6 | 0,507 | 1,58 | 2,46 | 3,85 | |
| Zinc | µg/l | <0,41 | <0,41 | 0,739 | 4,36 | <0,41 | <0,41 | <0,41 | <0,41 | |

L'arsenic, le bismuth, l'indium et l'antimoine ont été identifiés comme des éléments préoccupants en terme de lixivabilité des métaux dans la Section 5.1.2. Sachant que le potentiel de production acide des échantillons de roches stériles a été déterminé comme limité ou nul, les résultats présentés dans le [Tableau 5-8](#) indiquent que la lixivabilité de ces éléments est peu susceptible d'être significative sous pH neutre.

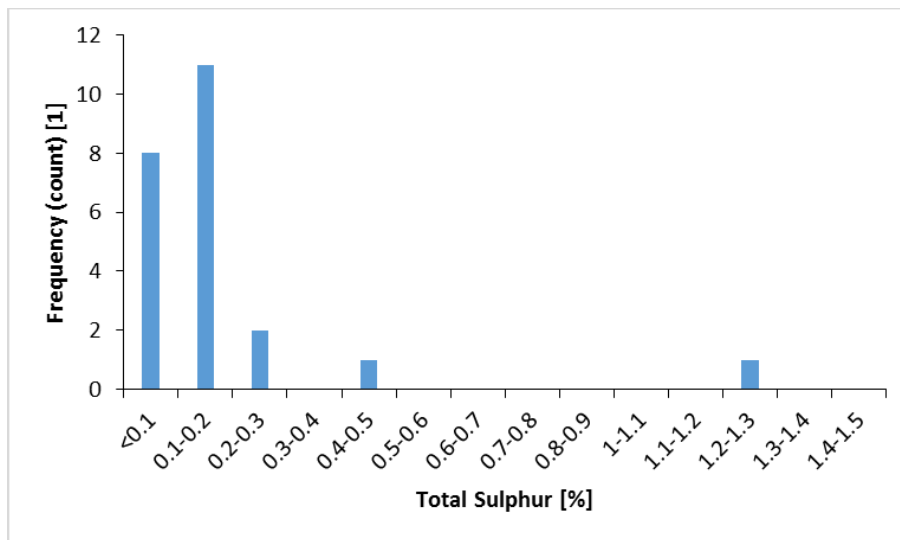
5.2 Les matériaux de construction

L'objectif des tests était de recueillir des données afin de déterminer si les déchets miniers pouvaient être utilisés comme matériaux de construction pour la TMF. Les échantillons sélectionnés pour les tests géotechniques ont également été caractérisés dans une démarche par étapes afin de réduire au minimum les coûts des tests.

5.2.1 Soufre total

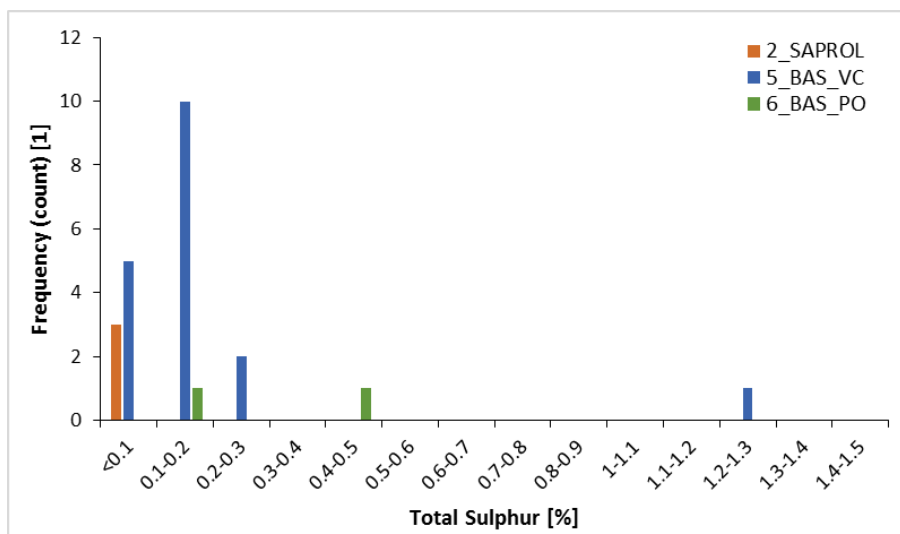
23 matériaux de construction ont été soumis à des tests de Soufre total par analyses LECO. La Figure 5-9 montre les résultats pour l'ensemble des échantillons, lesquels sont par la suite divisés par lithologie dans la Figure 5-10.

Figure 5-9 : Histogramme indiquant les résultats de soufre total pour les échantillons de matériaux de construction.



Comme cela a déjà été discuté, sans présence de sulfure, il n'y a pas d'élément moteur pour la production acide, et par conséquent cela a constitué la première étape dans la caractérisation des matériaux de construction. En règle générale, les matériaux présentant moins de 0,1 % de soufre total ont une capacité acidogène nulle ou très limitée. C'est là l'un des facteurs utilisés par l'Union européenne pour classer des échantillons comme inertes.

Figure 5-10 : Histogramme indiquant les résultats de soufre total par lithologie pour les échantillons de matériaux de construction.



La majorité (18/23) des échantillons de matériaux de construction étaient de lithologie 5_BAS_VC, qui a montré un pic dans les échantillons avec un soufre total de 0,1-0,2 %

et un échantillon présentant un soufre total de 1,24 %. Cet échantillon contient probablement une veinule de matière sulfurique.

Une comparaison avec la teneur en soufre total des échantillons de matériaux de construction et de roches stériles (voir Figure 5-11, ci-dessous) indique que les échantillons de matériaux de construction semblent avoir un soufre total plus élevé que les échantillons de roches stériles.

Figure 5-11 : Graphique montrant les proportions relatives des échantillons de roches stériles et de matériaux de construction dans chaque gamme de soufre total.

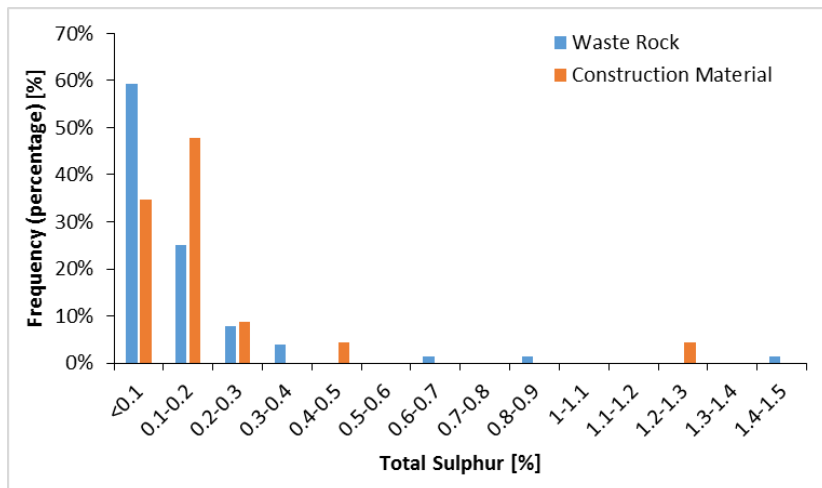
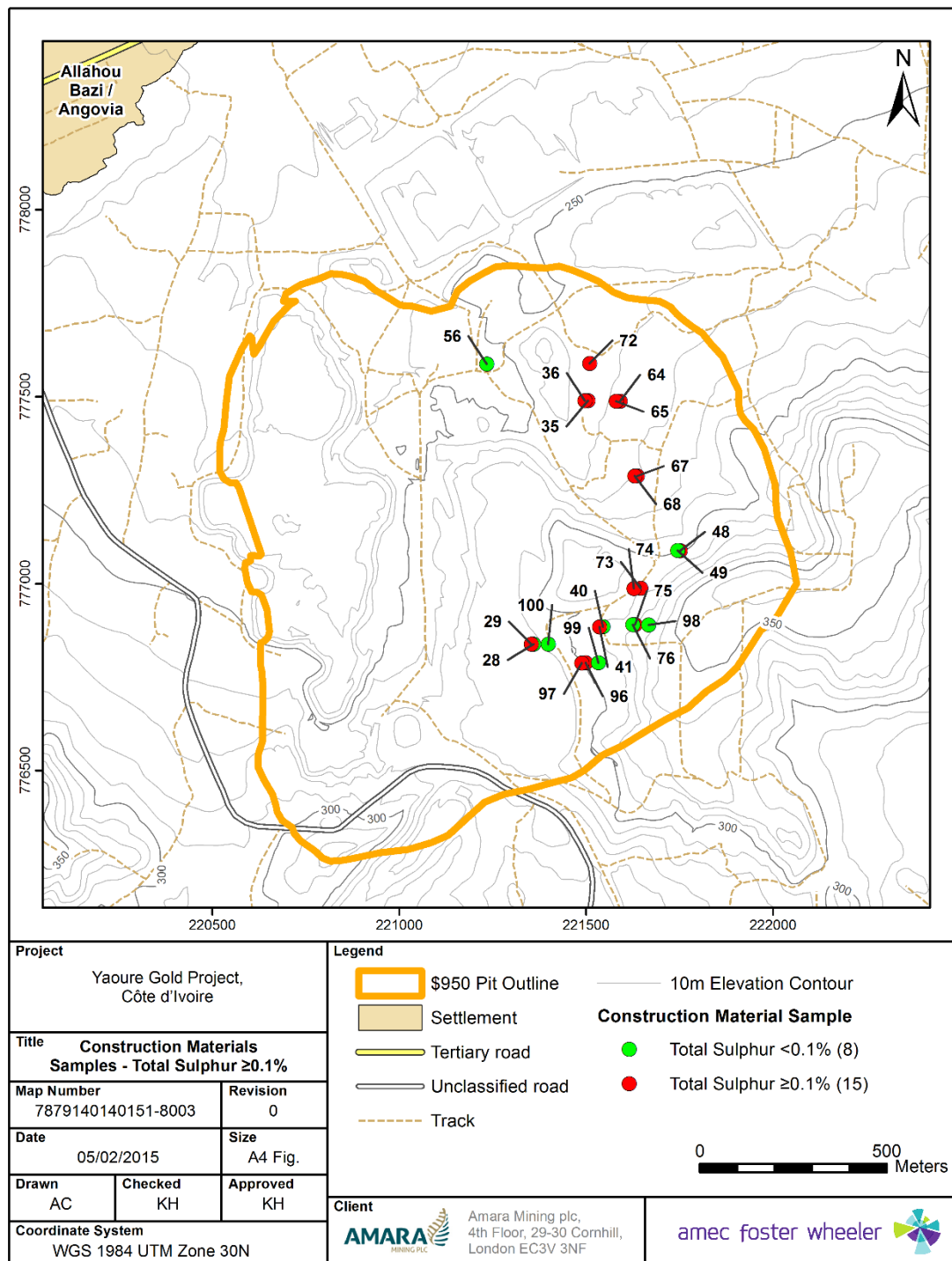


Figure 5-12 montre l'emplacement des échantillons de matériaux de construction présentant une teneur en soufre total relativement plus élevée.

Figure 5-12 : Emplacement des échantillons de matériau de construction présentant un soufre total ≥ 0.1 %.



Lorsqu'on examine la distribution des échantillons de matériau de construction, ceux qui ont une teneur en soufre total relativement plus élevée sont répartis verticalement entre 61 et 118 mètres et, selon la figure ci-dessus, dans toute la zone désignée pour les sources de matériaux de construction. Cela indiquerait une nécessité de mieux comprendre le comportement probable de ces matériaux, qu'ils soient ou non utilisés dans leur objectif premier.

5.2.2 XRF

Les résultats de test XRF sont résumés comme moyennes par lithologie dans le [Tableau 5-9](#) en ce qui concerne les oxydes majeurs et dans le [Tableau 5-10](#) en ce qui concerne les éléments traces.

Tableau 5-9 : Moyenne d'oxydes majeurs par XRF en fonction de leur lithologie pour les échantillons de matériau de construction (%).

| | 2_SAPROL | 5_BAS_VC | 6_BAS_PO | Moyenne de la croûte terrestre ⁵ |
|--------------------------------|----------|----------|----------|---|
| SiO ₂ | 47,27 | 47,03 | 44,56 | 59,07 |
| TiO ₂ | 1,22 | 0,88 | 1,07 | 1,03 |
| Al ₂ O ₃ | 21,64 | 13,66 | 13,46 | 15,22 |
| Fe ₂ O ₃ | 18,57 | 12,34 | 14,36 | 3,10 |
| MnO | 0,15 | 0,18 | 0,20 | |
| MgO | 0,45 | 6,64 | 6,45 | 3,45 |
| CaO | 0,16 | 10,21 | 9,72 | 5,10 |
| K ₂ O | 0,41 | 0,25 | 0,03 | 3,11 |
| Na ₂ O | <0,05 | 1,74 | 1,28 | 3,71 |
| P ₂ O ₅ | 0,06 | 0,07 | 0,09 | 0,30 |
| Somme | 89,99 | 93,01 | 91,20 | |
| LOI | 10,01 | 6,99 | 8,80 | |

Les résultats moyens pour les échantillons de saprolite et de basalte se situent dans la gamme de valeurs attendues pour ce type de lithologie lorsqu'on les compare avec la composition moyenne de la croûte terrestre. Néanmoins, tous les échantillons ont une teneur en fer supérieure à la moyenne et, dans le cas des basaltes, ont des teneurs en calcium et en magnésium supérieures à la composition moyenne de la croûte terrestre. Cela pourrait indiquer la présence de minéraux présentant un potentiel de neutralisation.

Tableau 5-10 : Moyenne des éléments traces par XRF en fonction de leur lithologie concernant les échantillons de matériau de construction (valeurs exprimées en ppm sauf indication contraire).

| Élément | 2_SAPROL | 5_BAS_VC | 6_BAS_PO | Moyenne de la croûte terrestre ⁵ |
|---------|----------|----------|----------|---|
| As | 15,07 | <9,11 | <13,00 | 1,8 |
| Ba | 181,10 | <32,73 | 23,00 | 425 |
| Bi | 5,83 | 5,24 | 5,45 | 0,17 |
| Ce | 33,67 | 25,38 | 25,65 | 60 |
| Cl (%) | <0,005 | <0,005 | <0,005 | 0,013 |
| Co | 67,07 | 36,84 | 44,05 | 25 |
| Cr | 366,73 | 233,18 | 217,65 | 100 |
| Cu | 228,77 | 95,38 | 133,75 | 55 |
| Ga | 23,03 | 13,97 | 15,55 | 15 |
| Ge | <3,10 | <3,03 | <3,00 | 1,5 |
| Hf | 5,60 | <4,33 | <3,00 | 3 |
| I | <4,47 | <4,55 | <5,55 | 0,5 |
| La | <6,83 | <5,04 | <5,00 | 30 |
| Mo | <9,50 | <8,21 | <2,00 | 1,5 |
| Nb | 3,97 | <2,51 | 3,30 | 20 |
| Ni | 164,27 | 123,23 | 106,15 | 75 |
| Pb | <2,37 | <2,35 | 4,35 | 12,5 |
| Rb | 12,27 | <7,48 | <1,00 | 90 |
| S (%) | <0,005 | <0,035 | 0,098 | |
| Sb | 8,00 | <6,77 | 6,30 | 0,2 |
| Sc | 342,83 | <15,77 | <15,00 | 16 |
| Se | <3,00 | <3,00 | <3,00 | 0,05 |
| Sn | 11,57 | 11,84 | 11,25 | 2 |
| Sr | 10,07 | 139,47 | 171,85 | 375 |
| Th | 7,40 | 7,79 | 8,40 | 10 |
| U | <3,00 | <3,00 | <3,00 | 2,7 |
| V | 394,87 | 297,14 | 334,55 | 135 |
| W | <12,60 | <3,00 | <3,00 | 1,5 |
| Y | 30,97 | 19,99 | 24,00 | 30 |
| Zn | 94,83 | 84,79 | 100,20 | 70 |
| Zr | 75,67 | 52,27 | 62,65 | 165 |

En moyenne, les échantillons de matériau de construction ont des teneurs élevées en As, Bi, Cr, Cu, I, Mo, Ni, Sb, Sn par rapport à la moyenne de la croûte terrestre, ce qui les désigne comme éléments de préoccupation environnementale possibles. La teneur en Sc était élevée dans la lithologie 2_SAPROL. La Limite de Détection (LoD) concernant Se était trop élevée par rapport à la moyenne de la croûte terrestre pour parvenir à une conclusion.

En comparant les éléments de préoccupation environnementale pour les matériaux de construction et pour les roches stériles, il apparaît que les matériaux de construction sont plus minéralisés que les roches stériles et par conséquent qu'ils sont également en cohérence avec leur teneur en soufre total plus élevée.

En se basant sur les tests limités réalisés, il n'est pas possible de conclure que ces échantillons ne sont pas acidogènes ou ne présentent pas de problème de lixivibilité des métaux. Par conséquent, d'un point de vue géochimique, les roches stériles présentées dans la section 5.1 semblent constituer un meilleur matériau de construction.

5.3 Échantillons de résidus

Six échantillons de résidus ont été fournis en suivant les tests métallurgiques, comme cela est détaillé dans le [Tableau 5-11](#) ~~Tableau 5-11~~.

Tableau 5-11 : Informations détaillées sur les six échantillons de résidus et les tonnages attendus (issus de l'évaluation économique préliminaire).

| Code | Domaine | Échantillon SGS N° (SGS 567-) | Tonnage (Mt) |
|---------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------|
| YO | Oxyde Yaouré | 1006 | 4,87 |
| YT | Transition Yaouré | 1007 | 8,77 |
| Y CMA U | Sulfure de zone supérieure CMA Yaouré | 1008 | 13,36 |
| Y CMA L | Sulfure de zone inférieure CMA Yaouré | 1009 | 24,26 |
| YU | Sulfure de zone supérieure Yaouré | 1010 | 12,29 |
| YL | Sulfure de zone inférieure Yaouré | 1011 | 29,26 |

La procédure suivie pour la production de ces échantillons est en cohérence avec un circuit de broyage et de cyanuration conventionnel.

5.3.1 Résultats de pré-lixiviation

Les résultats de pré-lixiviation ont été fournis par l'ingénieur métallurgiste.

Tableau 5-12: Résultat concernant les métaux essentiels, le soufre et le carbone pour les échantillons principaux (pré-lixiviation).

| Élément | Unit é | YO | YT | Y CMA U | Y CMA L | YU | YL |
|------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|
| Au | ppm | 1,23 | 1,33 | 3,35 | 2,82 | 2,44 | 2,69 |
| Au calculé | ppm | 1,5 | 1,64 | 2,85 | 2,88 | 2,03 | 1,75 |
| Au vérifié par ALS | ppm | 1,29 | 2,29 | | 2,85 | 3,14 | 3,5 |
| Ag | ppm | 0,61 | 0,28 | 0,4 | 0,34 | 0,5 | 0,32 |
| Cu | % | 0,016 | 0,015 | 0,007 | 0,007 | 0,019 | 0,014 |
| Pb | % | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 | <0,001 |
| Zn | % | 0,011 | 0,006 | 0,005 | 0,006 | 0,005 | 0,004 |
| S(sul) | % | 0,016 | 0,32 | 0,79 | 1 | 0,68 | 0,43 |
| S(tot) | % | 0,038 | 0,35 | 0,84 | 1,04 | 0,72 | 0,46 |
| C(org) | % | 0,03 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,01 |
| C(tot) | % | 0,064 | 1,6 | 3,18 | 3,15 | 1,37 | 1,81 |
| C(tot) vérifié par ALS | % | 0,05 | 1,67 | 3,26 | 3,22 | 1,41 | 1,83 |

Tableau 5-13 : Résultats XRD pour les échantillons principaux, (pré-lixiviation) [%].

| Minéral | YO | YT | Y CMA U | YCMA L | YU | YL |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| ?Vermiculite | 3,9 | 1,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Illite+Mica | 12,1 | 12,3 | 11,5 | 9,5 | 8,4 | 11,1 |
| Serpentine | 12,3 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Chlorite | 7,5 | 21,8 | 19,5 | 18,1 | 25,0 | 24,6 |
| Quartz | 41,4 | 26,8 | 18,5 | 23,4 | 30,6 | 25,1 |
| Feldspath-K | 2,8 | 1,2 | 1,3 | 1,6 | 1,8 | 0,0 |
| Plagioclase | 8,3 | 15,8 | 13,4 | 14,1 | 15,0 | 13,3 |
| Amphibole | 0,0 | 0,0 | TR | 0,0 | 1,0 | 1,8 |
| Calcite | 0,0 | 2,1 | 1,0 | 1,6 | 7,3 | 7,2 |
| Fe-Dolomite | 0,0 | 18,6 | 32,1 | 28,6 | 7,7 | 14,2 |
| Sidérite | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Pyrite | 0,0 | 0,0 | 2,6 | 3,1 | 3,1 | 2,6 |
| Hématite | 2,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Goethite | 9,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Tableau 5-14 : Résultats ICP pour les échantillons principaux, (pré-lixiviation).

| Élément | Unité | YO | YT | Y CMA U | YCMA L | YU | YL |
|---------|-------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|
| Ag | ppm | 0,48 | 0,24 | 0,61 | 0,3 | 0,57 | 0,29 |
| Al | % | 7,29 | 6,19 | 5,73 | 5,75 | 6,27 | 6,28 |
| As | ppm | 40,9 | 17,3 | 7,9 | 8,2 | 13,9 | 21,8 |
| Ba | ppm | 230 | 240 | 260 | 320 | 240 | 260 |
| Be | ppm | 1,02 | 0,77 | 0,9 | 0,91 | 0,72 | 0,82 |
| Bi | ppm | 10,25 | 1 | 0,34 | 0,62 | 1,29 | 2,92 |
| Ca | % | 0,34 | 3,14 | 5,81 | 5,86 | 5,11 | 5,68 |
| Cd | ppm | 0,12 | 0,11 | 0,08 | 0,09 | 0,1 | 0,07 |
| Ce | ppm | 17,2 | 27,5 | 57,8 | 62,5 | 20,3 | 29,9 |
| Co | ppm | 57,8 | 38,3 | 36,9 | 38 | 35,1 | 34,7 |
| Cr | ppm | 281 | 215 | 197 | 197 | 133 | 156 |
| Cs | ppm | 1,94 | 1,68 | 1,24 | 1,44 | 1,39 | 2,53 |
| Cu | ppm | 144,5 | 130 | 84,1 | 81,7 | 169,5 | 141 |
| Fe | % | 8,41 | 6,08 | 6,64 | 6,48 | 5,77 | 5,67 |
| Ga | ppm | 16,7 | 16,8 | 14,1 | 14,55 | 15,85 | 16,05 |
| Ge | ppm | 0,2 | 0,15 | 0,18 | 0,2 | 0,15 | 0,17 |
| Hf | ppm | 1,1 | 1,6 | 1,4 | 1,4 | 1,5 | 1,7 |
| In | ppm | 0,064 | 0,057 | 0,054 | 0,055 | 0,054 | 0,05 |
| K | % | 0,99 | 1,08 | 1,09 | 0,98 | 0,81 | 1,13 |
| La | ppm | 8,8 | 11,8 | 26,3 | 25,1 | 9 | 12,9 |
| Li | ppm | 14,5 | 16,8 | 14,6 | 15 | 13,6 | 17 |
| Mg | % | 1,21 | 2,7 | 3,12 | 3,17 | 2,6 | 2,74 |
| Mn | ppm | 1230 | 971 | 1130 | 1110 | 939 | 994 |
| Mo | ppm | 8,97 | 8,25 | 8,87 | 16,35 | 5,46 | 15,35 |
| Na | % | 0,62 | 1,66 | 1,83 | 1,98 | 1,73 | 1,61 |
| Nb | ppm | 1,5 | 2,7 | 3,1 | 3,1 | 2,8 | 3 |
| Ni | ppm | 141,5 | 115 | 111,5 | 114,5 | 88,2 | 98 |
| P | ppm | 430 | 540 | 1090 | 1110 | 450 | 580 |
| Pb | ppm | 6,1 | 4,9 | 5 | 6,6 | 8,3 | 6 |
| Rb | ppm | 35,6 | 42,3 | 36,4 | 35,5 | 29,3 | 42,1 |
| Re | ppm | 0,002 | 0,009 | 0,004 | 0,004 | 0,006 | 0,008 |
| S | % | 0,01 | 0,33 | 0,85 | 1,07 | 0,73 | 0,47 |
| Sb | ppm | 3,35 | 2,53 | 3,2 | 3,22 | 2,33 | 2,47 |
| Sc | ppm | 36,2 | 30,3 | 27,5 | 27,5 | 24,8 | 26,3 |
| Se | ppm | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Sn | ppm | 1,4 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 |
| Sr | ppm | 50 | 172 | 278 | 350 | 229 | 250 |
| Ta | ppm | 0,11 | 0,24 | 0,17 | 0,16 | 0,2 | 0,2 |
| Te | ppm | 2,61 | 0,59 | 0,91 | 1,12 | 0,87 | 2,01 |
| Th | ppm | 1,1 | 1,7 | 2,3 | 2,4 | 1,6 | 2 |
| Ti | % | 0,334 | 0,362 | 0,373 | 0,356 | 0,403 | 0,374 |
| Tl | ppm | 0,2 | 0,2 | 0,17 | 0,16 | 0,14 | 0,2 |
| U | ppm | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,7 |
| V | ppm | 307 | 205 | 210 | 193 | 178 | 177 |
| W | ppm | 24,8 | 22,7 | 23,2 | 23,9 | 9,5 | 17,5 |
| Y | ppm | 9,6 | 10,4 | 9,1 | 8,6 | 13,2 | 12,3 |
| Zn | ppm | 117 | 78 | 82 | 79 | 72 | 69 |
| Zr | ppm | 38,1 | 54,4 | 53,9 | 59,4 | 48 | 56,1 |

5.3.2 Résultats ABA et NAG

Les résultats des tests ABA et NAG pour les résidus sont résumés dans le [Tableau 5-15](#) ~~Tableau 5-15~~.

Tableau 5-15 : Résumé des résultats des tests ABA et NAG pour les six échantillons de résidus.

| Paramètre [unités] | YO | YT | Y CMA U | Y CMA L | YU | YL |
|--------------------------------------|------|-------|---------|---------|-------|-------|
| pH de pâte [1] | 8,48 | 8,10 | 8,77 | 8,57 | 8,75 | 8,57 |
| Soufre total [%] | 0,03 | 0,33 | 0,79 | 0,98 | 0,7 | 0,44 |
| Sulfure [%] | 0,02 | 0,3 | 0,76 | 0,95 | 0,66 | 0,41 |
| Carbonate [%] | 0,18 | 1,68 | 3,27 | 3,2 | 1,54 | 1,9 |
| NP1 [t CaCO ₃ /1000 t] | 12,4 | 138,2 | 242,0 | 24,1 | 132,0 | 161,2 |
| AP [t CaCO ₃ /1000 t] | 0,6 | 9,4 | 23,8 | 29,7 | 20,6 | 12,8 |
| NP net [t CaCO ₃ /1000 t] | 11,8 | 128,8 | 218,3 | -5,6 | 111,4 | 148,4 |
| NP/AP [1] | 19,9 | 14,7 | 10,2 | 0,8 | 6,4 | 12,6 |
| pH final de NAG [1] | 6,00 | 6,42 | 7,75 | 8,15 | 7,19 | 6,40 |

NB: [1] indique que la mesure est sans dimension (sans unité).

Les résultats de test ABA présentés dans le Tableau 5-15 ci-dessus indiquent que le seul échantillon potentiellement producteur d'acide est Y CMA L. Néanmoins, le test NAG semble indiquer le contraire.

5.3.3 Analyse de résidus (rocheux) entiers

XRF

Les résultats de test XRF sont présentés pour les échantillons de résidus dans le [Tableau 5-16](#) ~~Tableau 5-16~~ pour les oxydes majeurs et dans le [Tableau 5-17](#) ~~Tableau 5-17~~ pour les éléments traces.

Tableau 5-16 : Moyenne d'oxydes majeurs par XRF en fonction de leur lithologie pour les échantillons de résidus (%).

| | YO | YT | Y CMA U | Y CMA L | YU | YL | Moyenne de la croûte terrestre ⁵ |
|--------------------------------|-------|-------|---------|---------|-------|-------|---|
| SiO ₂ | 56,93 | 50,99 | 45,07 | 45,34 | 54,57 | 51,12 | 59,07 |
| TiO ₂ | 0,99 | 0,77 | 0,76 | 0,72 | 0,71 | 0,65 | 1,03 |
| Al ₂ O ₃ | 15,17 | 12,92 | 11,11 | 10,98 | 12,51 | 12,33 | 15,22 |
| Fe ₂ O ₃ | 13,35 | 9,87 | 10,02 | 9,64 | 9,11 | 8,73 | 3,1 |
| MnO | 0,16 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,13 | 0,14 | |
| MgO | 2,37 | 5 | 5,35 | 5,35 | 4,64 | 4,78 | 3,45 |
| CaO | 0,69 | 4,71 | 8,13 | 8,27 | 7,48 | 8,06 | 5,1 |
| K ₂ O | 1,34 | 1,46 | 1,36 | 1,24 | 1,06 | 1,43 | 3,11 |
| Na ₂ O | 0,96 | 2,38 | 2,41 | 2,54 | 2,35 | 2,14 | 3,71 |
| P ₂ O ₅ | 0,1 | 0,12 | 0,23 | 0,23 | 0,1 | 0,13 | 0,3 |
| Somme | 92,1 | 88,4 | 84,8 | 84,7 | 92,9 | 89,6 | |
| LOI _{xrf} | 7,9 | 11,6 | 15,2 | 15,3 | 7,1 | 10,4 | |

La teneur en fer est supérieure à la moyenne tandis que les teneurs en sodium et en potassium sont inférieures à la moyenne.

Tableau 5-17 : Concentrations d'éléments traces par XRF pour les échantillons de résidus (valeurs exprimées en ppm sauf indication contraire).

| | YO | YT | Y CMA U | Y CMA L | YU | YL | Moyenne de la croûte terrestre ⁵ |
|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---|
| As | 33 | 11 | 5 | 5 | 9 | 13 | 1,8 |
| Ba | 256 | 305 | 315 | 399 | 273 | 330 | 425 |
| Bi | 13 | 5 | 7 | 5 | 6 | 6 | 0,17 |
| Ce | 33 | 47 | 63 | 53 | 41 | 27 | 60 |
| Cl (%) | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | <0,005 | |
| Co | 39 | 30 | 30 | 29 | 25 | 25 | 25 |
| Cr | 282 | 340 | 411 | 422 | 519 | 436 | 100 |
| Cu | 136 | 95 | 63 | 61 | 115 | 96 | 55 |
| Ga | 19 | 16 | 13 | 14 | 15 | 14 | 15 |
| Ge | 3 | 3 | < 3 | < 3 | 3 | < 3 | 1,5 |
| Hf | 4 | 4 | 4 | 7 | 9 | < 3 | 3 |
| I | 4 | 6 | 6 | 11 | 4 | <2 | 0,5 |
| La | 9 | 6 | 27 | 29 | <5 | 6 | 30 |
| Mo | 14 | 23 | 29 | 37 | 52 | 46 | 1,5 |
| Nb | 2 | 4 | 4 | 4 | 3 | 4 | 20 |
| Ni | 156 | 169 | 179 | 181 | 260 | 195 | 75 |
| Pb | 12 | 5 | 5 | 8 | 13 | 7 | 12,5 |
| Rb | 40 | 40 | 39 | 36 | 31 | 42 | 90 |
| Sb | 7 | 6 | 11 | 14 | 2 | 6 | 0,2 |
| S (%) | <0,005 | 0,06 | 0,21 | 0,28 | 0,21 | 0,12 | |
| Sc | 186 | 55 | <15 | <15 | <15 | <15 | 16 |
| Se | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | 0,05 |
| Sn | 11 | 9 | 9 | 8 | 7 | 7 | 2 |
| Sr | 53 | 176 | 261 | 330 | 220 | 239 | 375 |
| Th | < 3 | 7 | 5 | 9 | 5 | 6 | 10 |
| U | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | < 3 | 2,7 |
| V | 389 | 280 | 287 | 265 | 215 | 220 | 135 |
| W | 24 | 6 | 17 | 15 | < 3 | < 3 | 1,5 |
| Y | 23 | 15 | 15 | 14 | 13 | 12 | 30 |
| Zn | 131 | 75 | 77 | 77 | 74 | 63 | 70 |
| Zr | 77 | 76 | 71 | 70 | 69 | 70 | 165 |

Selon les résultats présentés, les éléments suivants seraient potentiellement préoccupants du point de vue environnemental : As, Bi, I, Mo, Sb et W. Parmi les autres éléments qui se trouvent au-dessus de la moyenne, on trouve : Cr, Cu, Ni, Sn et V. La limite de détection pour Se n'a pas permis de parvenir à une conclusion.

Minéralogie (XRD de Rietveld)

Le nombre de pics montre clairement et immédiatement que la minéralogie des échantillons est complexe. Néanmoins, la minéralogie est principalement dominée par le quartz, le feldspath plagioclase, la chlorite, le pyroxène, les carbonates et le mica-K. La Figure 5-13 montre les traces XRD concernant l'échantillon de résidus YO (Résidus oxydés, Échantillon N° 1006). Les 5 autres échantillons de résidus ont montré une grande similitude, comme démontré dans la Figure 5-14.

Concernant la classification, des minéraux supplémentaires ont été identifiés et intégrés aux calculs. Le pourcentage de poids des minéraux présents, issu de la quantification de Rietveld, est donné au [Tableau 5-18](#) ~~Tableau 5-18~~. Il faut noter que les valeurs inférieures à environ 4 % sont moins précises et que la présence des phases données comme inférieures à 1 % est incertaine. En ce qui concerne la quantification, le feldspath

plagioclase a été modélisé comme l'andésine ; le feldspath-K comme l'orthose ; l'amphibole comme la hornblende (pargasite) ; le mica-K comme à la fois la muscovite et la biotite ; la chlorite comme une variété riche en Fe (chamosite) et le pyroxène comme un mélange de deux variétés ortho et clino). Bien que la calcite ait été identifiée dans certains échantillons, on trouve également en abondance un autre carbonate (le grand pic à 31°) ; celui-ci a été modélisé comme ankérite (un carbonate Ca-Fe-Mg).

Bien que les phases principales aient déjà été identifiées, les correspondances entre les traces observées et modélisées ne sont pas toujours idéales. Cela est probablement dû à des problèmes liés à la modélisation des variétés exactes des silicates présents – en particulier le feldspath, le pyroxène, l'amphibole et la chlorite.

Figure 5-13 : Trace XRD pour l'échantillon 1006 avec des marqueurs pics concernant les principaux minéraux présents.

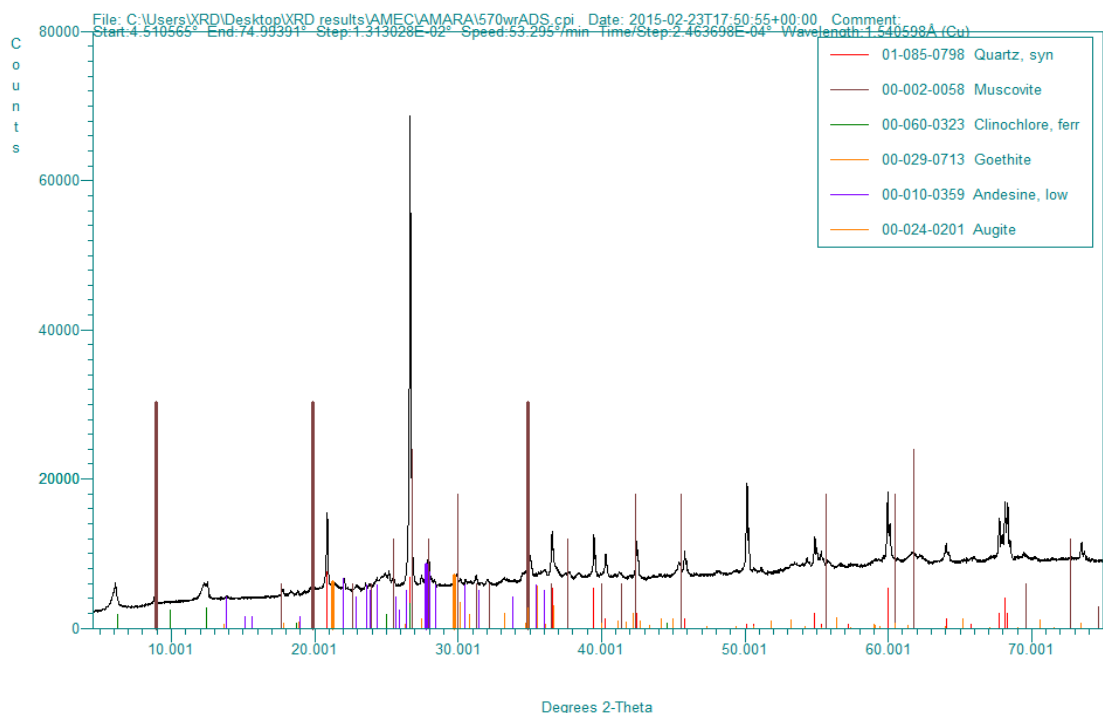


Figure 5-14 : Traces XRD pour les cinq échantillons semblables.

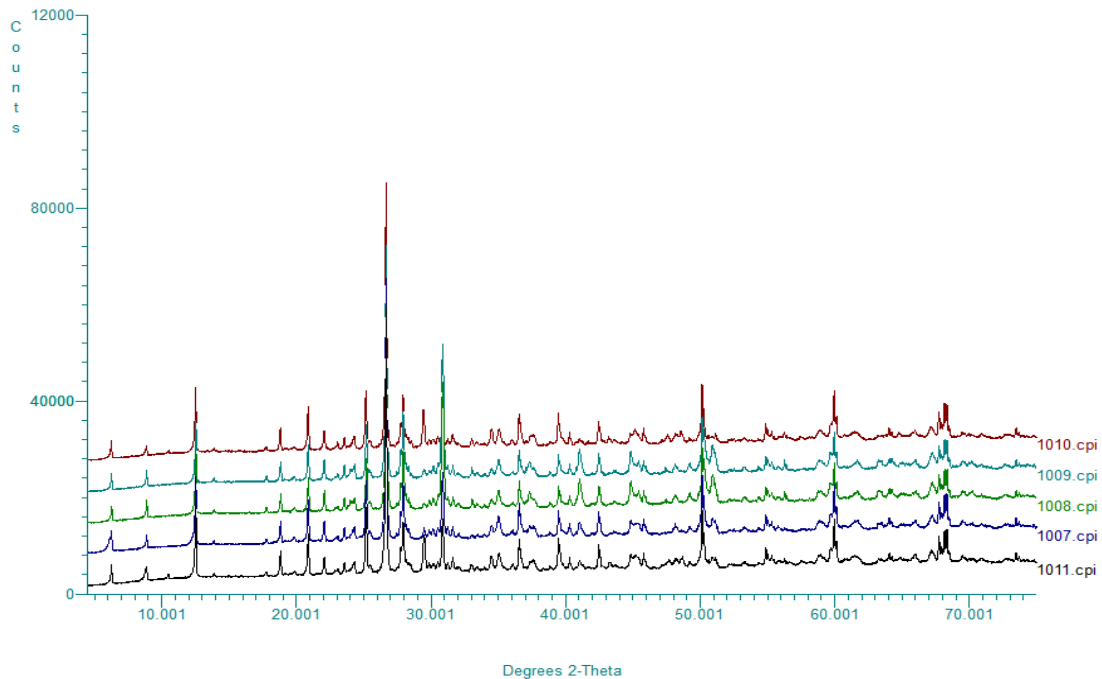


Tableau 5-18 : Résultats de minéralogie XRD par quantification Rietveld pour les six échantillons de résidus (% de poids).

| Phase | YO | YT | Y CMA U | Y CMA L | YU | YL |
|------------|------|------|---------|---------|------|------|
| Quartz | 40,1 | 22,6 | 19,3 | 18,8 | 24,7 | 23,8 |
| Chlorite | 28 | 17,9 | 12,1 | 12,2 | 19,9 | 17 |
| Muscovite | 9,3 | 9,5 | 9,7 | 6,9 | 5,6 | 6,9 |
| Biotite | 1,6 | 0,9 | 0,5 | 1,5 | 1,2 | 2,3 |
| Calcite | 0 | 1,8 | 0,9 | 1,2 | 6,9 | 7,4 |
| Ankérite | 1 | 15,9 | 29 | 19,7 | 11,3 | 12,1 |
| Goethite | 3,7 | 0,6 | 0,4 | 0,7 | 0,2 | 0,3 |
| Hématite | 0,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Pyrite | 0 | 0,7 | 1,3 | 2,1 | 2,4 | 2,1 |
| Orthose | 0 | 0,5 | 0,5 | 0,9 | 0 | 0,3 |
| Andésine | 7,4 | 13,7 | 14,1 | 17,4 | 19 | 17,5 |
| Hornblende | 2,1 | 1,8 | 1,3 | 0,9 | 2,9 | 4,4 |
| Pyroxène | 3,8 | 11,6 | 9,1 | 16,3 | 4,4 | 4,5 |
| Diaspore | 2,4 | 2,3 | 1,7 | 1,4 | 1,5 | 1,3 |

L'échantillon 1006 (résidus oxydés) se distingue car il est dominé par le quartz, les oxydes/hydroxydes de fer, le mica-K et la chlorite. La teneur en carbonate est basse. La minéralogie des 5 autres échantillons est dominée par le quartz, des silicates ferromagnésiens (amphibole, chlorite, mica) et par le feldspath plagioclase. Certains échantillons contiennent également des quantités élevées de carbonate (y compris de la calcite). Cette observation est renforcée par les analyses chimiques qui montrent des teneurs élevées en Fe, Mg, Ca, Al et Si, ainsi qu'une certaine quantité de K et de Na.

5.3.4 Lixiviat de SPLP

Le [Tableau 5-19](#) présente les résultats de pH et de conductivité du lixiviat de SPLP. Les lixiviats de SPLP étaient de pH alcalin. Le [Tableau 5-20](#)

présente les résultats de la gamme ICP multiéléments pour le lixiviat, avec les limites de l'US EPA pour les métaux essentiels ⁶.

Tableau 5-19 : Résultats de pH et de conductivité du lixiviat de SPLP pour les six échantillons de résidus.

| Échantillon | pH | Conductivité [µs/cm] |
|-------------|-----|----------------------|
| YO | 9,1 | 230 |
| YT | 8,2 | 180 |
| Y CMA U | 8,2 | 180 |
| Y CMA L | 8,2 | 160 |
| YU | 7,7 | 175 |
| YL | 7,7 | 175 |

Tableau 5-20 : Résultats de l'analyse du lixiviat de SPLP pour les six échantillons de résidus.

| | Unités | LOD | YO | YT | Y CMA U | Y CMA L | YU | YL | US EPA |
|-------------------------------|--------|--------|-------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|
| Fluorure | mg/l | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | <0,5 | |
| Sulfate | mg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | |
| Chlorure | mg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | |
| Nitrate comme NO ₃ | mg/l | <0,3 | 0,411 | <0,3 | <0,3 | <0,3 | 0,58 | 0,467 | |
| Aluminium | µg/l | <2,9 | 171 | 29,7 | 286 | 358 | 288 | 188 | |
| Mercuré | µg/l | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | <0,01 | |
| Antimoine | µg/l | <0,16 | 0,72 | 0,659 | 0,555 | 0,524 | 1,35 | 1,78 | |
| Calcium | mg/l | <0,012 | 1,4 | 11,4 | 12,8 | 13,1 | 14,2 | 15,7 | |
| Arsenic | µg/l | <0,12 | 14,7 | 1,87 | 0,725 | 0,828 | 0,792 | 1,74 | 5 000 |
| Sodium | mg/l | <0,076 | 26,8 | 7,76 | 3,48 | 2,66 | 2,15 | 1,46 | |
| Baryum | µg/l | <0,03 | 0,449 | 1,38 | 93,5 | 86,7 | 5,48 | 4,56 | 100 000 |
| Magnésium | mg/l | <0,036 | 0,268 | 2,76 | 4,8 | 4,77 | 2,97 | 2,23 | |
| Béryllium | µg/l | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | <0,07 | |
| Potassium | mg/l | <1 | <1 | 1,47 | 2,95 | 2,89 | 2,7 | 4,16 | |
| Argent | µg/l | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | |
| Fer | mg/l | <0,019 | 0,427 | <0,019 | <0,019 | <0,19 | <0,019 | <0,019 | |
| Bore | µg/l | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | <9,4 | |
| Cadmium | µg/l | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | <0,1 | 1 000 |
| Chrome | µg/l | <0,22 | 9,09 | 7,99 | 8,5 | 8,64 | 8,23 | 8,77 | |
| Cobalt | µg/l | <0,06 | 1,31 | 0,101 | 0,356 | 0,251 | 0,143 | 0,098 | |
| Cuivre | µg/l | <0,85 | 1,04 | <0,85 | <0,85 | <0,85 | <0,85 | <0,85 | |
| Plomb | µg/l | <0,02 | 0,115 | <0,02 | <0,02 | <0,02 | 0,051 | <0,02 | 5 000 |
| Manganèse | µg/l | <0,04 | 3,23 | 2,16 | 3,93 | 3,99 | 5,23 | 5,13 | |
| Molybdène | µg/l | <0,24 | 6,27 | 1,51 | 2,03 | 3,22 | 1,41 | 1,1 | |
| Nickel | µg/l | <0,15 | 4,02 | 0,161 | 0,399 | 0,351 | 0,319 | 0,307 | |
| Phosphore | µg/l | <6,3 | 138 | <6,3 | <6,3 | <6,3 | 8,61 | <6,3 | |
| Sélénium | µg/l | <0,39 | 0,667 | 1,66 | 0,934 | 1,1 | 1,39 | 1,64 | |
| Strontium | µg/l | <0,05 | 3,76 | 25,5 | 110 | 428 | 48,8 | 58,9 | |
| Tellure | µg/l | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | |
| Thallium | µg/l | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | <0,96 | |
| Étain | µg/l | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | <0,36 | |
| Uranium | µg/l | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | |
| Titane | µg/l | <1,5 | 8,02 | <1,5 | <1,5 | <1,5 | 2,88 | <1,5 | |
| Vanadium | µg/l | <0,24 | 26,2 | 3,37 | 0,939 | 1,11 | 0,757 | 0,488 | |
| Zinc | µg/l | <0,41 | 0,602 | 0,5 | <0,41 | 0,423 | 6,73 | 0,523 | |

Les résultats présentés dans le [Tableau 5-20](#) ci-dessus indiquent qu'à part l'As pour l'échantillon d'oxyde YO, le caractère préoccupant de la lixivabilité des métaux

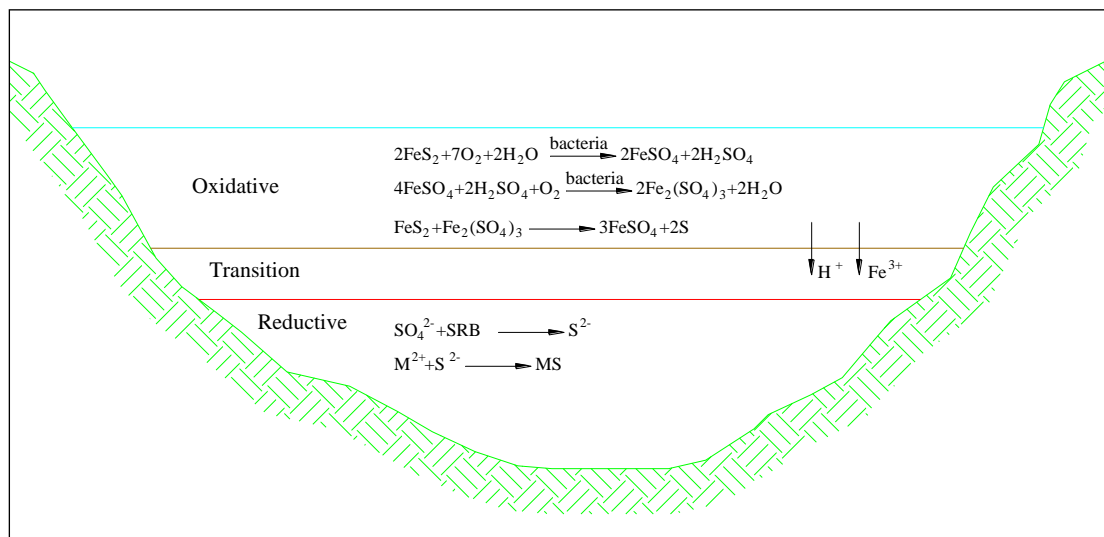
est limité. Les résultats indiquent que les autres éléments préoccupants du point de vue environnemental ne solubiliseront pas lors de l'élimination initiale.

5.3.5 Les infiltrations

La qualité des infiltrations dans toute installation de résidus dépend de la qualité des résidus (en phases solide et liquide), de la méthode de dépôt et de confinement, du volume des infiltrations et de l'étape dans le développement de l'installation. La Figure 5-15 illustre les trois environnements chimiques dont des études de terrain ont démontré qu'ils se développent avec le temps dans une TMF contenant des minéraux sulfurés. Ces trois environnements chimiques sont les suivants :

- **Oxydatif** : Cet environnement est caractérisé par la présence d'oxygène, et si des minéraux sulfurés sont présents dans les résidus, il existe un potentiel de génération d'ARD dans cette couche.
- **Transition** : Il n'y a pas d'oxygène dans cet environnement ; néanmoins, les produits du processus oxydatif sont toujours dominants.
- **Réducteur** : Cet environnement est caractérisé par un potentiel réducteur ; il s'agit d'un environnement adapté aux bactéries réductrices de sulfate (Sulphate Reducing Bacteria - SRB). Ces bactéries ont la capacité de réduire l'ion de soufre sous forme de sulfate en soufre sous forme de sulfure. En règle générale, cette région a un effet positif sur la qualité des infiltrations puisque la présence de soufre sous forme de sulfure pourra potentiellement précipiter les ions de métaux.

Figure 5-15 : Environnement chimique dans les installations de gestion des résidus contenant des minéraux générateurs d'ARD.



Les installations de gestion des résidus, du point de vue de l'environnement chimique, sont des systèmes dynamiques complexes. En dépôt initial, tous les résidus sont sous environnement oxydatif, mais ensuite un environnement réducteur se développera au fur et à mesure de l'augmentation de la profondeur des résidus. En outre, la présence de CN accentue la complexité du système chimique étant donné que les différents métaux formeront un complexe avec le CN et que le pH exercera également une influence.

Dans le cas de Yaours, seuls les résidus Y CMA L semblent présenter un potentiel acidogène, et par conséquent la formation d'un environnement réducteur s'ensuivra plus rapidement ; mais l'ordre de dépôt des différents résidus est susceptible de perturber l'évolution attendue des environnements chimiques dans l'installation. L'élaboration d'un modèle géochimique basé sur la séquence attendue de dépôts de différents résidus sera nécessaire afin de déterminer la qualité probable des infiltrations.

Pour déterminer l'impact de la qualité des infiltrations, il sera nécessaire de mettre en place un modèle prédictif des résultats probables en terme de source-chemin-récepteur à travers les différentes phases du projet, depuis le dépôt initial jusqu'à la fermeture de la TMF.

- La source à prendre en considération serait la géochimie des résidus conjuguée au niveau d'infiltrations prévues. Cela permettrait un calcul de charge et des analyses de sensibilité.
- Le chemin est constitué par le système d'eaux souterraines et nécessitera un modèle hydrogéologique en plus de la compréhension du récepteur. On sait que ceci n'est pas disponible. En fait, la chimie viendrait s'ajouter à ce modèle.
- Il est clair que les récepteurs boiraient de l'eau des puits utilisés dans la communauté.

En conclusion, il apparaît donc qu'il existe un potentiel de lixivibilité des métaux pour As issu dépôt initial des résidus oxydés. Cela est susceptible de changer au cours de l'évolution de l'installation, mais ce changement est impossible à déterminer sans modèle géochimique. En outre, même si une source de lixivibilité des métaux est établie à cette étape du développement du projet, les chemins que prendraient les infiltrations impactantes pour aboutir aux récepteurs sont impossibles à déterminer avec certitude.

6.0 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

6.1 Roches stériles

Des tests ABA et NAG ont été effectués sur 76 échantillons de roches stériles représentant l'ensemble des lithologies principales et une distribution spatiale correcte du gisement. Il y avait une corrélation satisfaisante entre le soufre total et le soufre sous forme de sulfure, indiquant que la plus grande partie du soufre est présente sous forme de sulfure. Les résultats de pH de pâte élevés indiquent que les échantillons ont été entreposés et manipulés correctement ; les échantillons ayant un pH de pâte bas correspondaient aux lithologies censées avoir été oxydées. Deux échantillons présentant des résultats de soufre total plus élevés (0,81% et 1,43% issus respectivement des lithologies 4_FR_OXI et 6_BAS_PO) ont été considérés comme potentiellement acidogènes selon les résultats de NNP et NPR. Les résultats de NAG ont indiqué qu'il était possible que l'échantillon présentant un soufre total de 1,43 % ne soit pas acidogène, néanmoins cela ne doit pas être supposé vrai sur la base d'un test NAG à une seule étape avec un soufre total > 1 %. La caractérisation des sept échantillons de roches stériles sélectionnés pour représenter toutes les lithologies, ainsi que la gamme des teneurs en sulfures déterminées ont indiqué que dans trois échantillons, la quantité de calcite présente était suffisante pour le maintien d'un pH neutre. L'échantillon de sapolite présente une teneur en sulfure limitée et par conséquent n'a pas d'élément moteur de production acide. Le reste des échantillons présentaient un assemblage d'albite, d'actinolite et de chlorite en quantités suffisantes par comparaison avec la teneur en sulfure pour rendre peu probable la génération d'un drainage acide significatif. En conclusion, sur la base des échantillons testés, il semble que le gisement présente un bas niveau de sulfures tout en détenant une capacité de neutralisation suffisante, et par conséquent la génération d'un drainage acide d'une quelconque importance est peu probable. Il a également été déterminé que la lixivabilité des métaux devrait ne pas être significative, comme l'illustrent les résultats de lixivation à court terme.

6.2 Matériaux de construction

Les résultats issus des échantillons de matériaux de construction ont montré que ceux-ci étaient plus minéralisés que les roches stériles et, en raison de la démarche étape par étape adoptée, les données disponibles ne permettent pas de réfuter que les basaltes testés soient potentiellement acidogènes ou posent un problème de lixivabilité des métaux. Néanmoins, en supposant que les matériaux de construction devront être extraits et qu'ils se comporteront de manière semblable aux échantillons de roches stériles (c'est-à-dire que le soufre total soit égal au sulfure total et que les résultats ABA/NAG soient semblables), alors ces échantillons seront probablement classés comme présentant un potentiel acidogène nul ou bas.

6.3 Résidus

Six échantillons de résidus différents ont été caractérisés. Les résidus Y CMA L sont potentiellement acidogènes tandis que les résidus oxydés (YO) pourraient présenter une

lixiviabilité des métaux en ce qui concerne As. Il n'est pas possible de fournir une conclusion définitive sans élaborer un modèle géochimique suivant l'évolution de la chimie de l'installation de gestion des résidus dans la mesure où différents types de résidus y sont entreposés.

6.4 Recommandations

6.4.1 Roches stériles

Dans le but d'apporter une base statistique plus solide à la conclusion de ce rapport, il est recommandé de réaliser des tests de soufre total sur au moins 300 échantillons sélectionnés suivant les mêmes principes que dans ce programme, dans le cadre de la phase suivante du développement du projet.

6.4.2 Les matériaux de construction

Il est recommandé que les 15 échantillons de matériaux de construction présentant un soufre total élevé fassent l'objet de tests ABA et NAG afin de prouver la présence ou l'absence d'un potentiel acidogène en ce qui les concerne.

Trois échantillons sélectionnés doivent être caractérisés par XRD (quantification de Rietveld) et pour lixiviation à court terme afin d'évaluer leur lixivabilité des métaux.

6.4.3 Les résidus

Il est nécessaire d'établir la qualité des infiltrations, puis l'élaboration d'un modèle géochimique est recommandée

6.4.4 Autres

Il est également recommandé que les données de référence concernant la qualité de l'eau soient examinées lorsqu'elles seront complètes et disponibles.

7.0 RÉFÉRENCES

- 1 – SRK, Étude technique de la mine d'or d'Angovia, Mont Yaouré, Côte d'Ivoire (Rapport NI 43-101), 2008
- 2 – Modified Acid Base Accounting Procedure, R.W. Lawrence et Y. Wang. 4ème Conférence internationale sur le Drainage de roches acides. 31 mai – 6 juin 1997, Vancouver, B.C. Canada. p.464.
- 3 – Guide de test ARD - Projet P387A « Prévision et contrôle cinétique du drainage minier acide », AMIRA International Ltd., mai 2002
- 4 – Décision de la commission de l'UE du 30 avril 2009 complétant la définition des déchets inertes dans la mise en œuvre de l'Article 22(1) (f) de la Directive 2006/21/EC du Parlement européen et du Conseil concernant la gestion des déchets issus des secteurs de l'extraction (*notifié sous le numéro de document C(2009) 3012*) (2009/359/EC).
- 5 - Extrait de Levinson, A A, 1974. *Introduction to Exploration Geochemistry*. Reproduit dans *Field Geologists' Manual*, édité par l'Institut australien de la métallurgie, 4^{ème} éd., 2001
- 6 - US EPA SW846 Méthodes de test pour l'évaluation des déchets solides, méthodes physiques/chimiques - Méthode 1312

ANNEXES

ANNEXE A

Méthodologie ABA et NAG

Annexe B

Procédure SPLP

Annexe C

Échantillons représentatifs géologiques

Annexe D

Liste des échantillons de roches stériles et de matériaux de construction

| Référence de l'échantillon | Type d'échantillon | Forage | Échantillon né depuis (m) | Échantillon né vers (m) | Lithologie | X (m, UTM) | Y (m, UTM) |
|----------------------------|--------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------|------------|------------|
| 001 | Roches stériles | YDD003 1 | 62 | 62,6 | 3_SAPRO K | 220895 | 777586 |
| 002 | Roches stériles | YDD003 1 | 99,54 | 100 | 5_BAS_V C | 220876 | 777586 |
| 003 | Roches stériles | YDD003 1 | 155,44 | 156,01 | 7_GD_PO R | 220849 | 777587 |
| 004 | Roches stériles | YDD003 2 | 12 | 13,2 | 2_SAPRO L | 220920 | 777386 |
| 005 | Roches stériles | YDD003 2 | 171,24 | 171,8 | 5_BAS_V C | 220840 | 777386 |
| 006 | Roches stériles | YDD003 6 | 40,44 | 40,89 | 5_BAS_V C | 220864 | 777284 |
| 007 | Roches stériles | YDD004 2 | 36,54 | 36,82 | 4_FR_OXI | 221020 | 777186 |
| 008 | Roches stériles | YDD004 2 | 265,8 | 266,38 | 5_BAS_V C | 220903 | 777188 |
| 009 | Roches stériles | YDD004 3 | 74,7 | 75,25 | 5_BAS_V C | 221002 | 777086 |
| 010 | Roches stériles | YDD004 3 | 181,21 | 181,9 | 7_GD_PO R | 220951 | 777086 |
| 011 | Roches stériles | YDD004 4 | 198,97 | 199,54 | 5_BAS_V C | 220886 | 777492 |
| 012 | Roches stériles | YDD005 0 | 8 | 9,07 | 2_SAPRO L | 220984 | 776986 |
| 013 | Roches stériles | YDD005 0 | 46,99 | 47,59 | 6_BAS_P O | 220966 | 776987 |
| 014 | Roches stériles | YDD005 0 | 161,81 | 162,39 | 5_BAS_V C | 220910 | 776989 |
| 015 | Roches stériles | YDD005 0 | 178,72 | 179,29 | 7_GD_PO R | 220902 | 776990 |
| 016 | Roches stériles | YDD005 1 | 160,27 | 160,95 | 5_BAS_V C | 220907 | 776882 |
| 017 | Roches stériles | YDD005 2 | 9,75 | 10 | 4_FR_OXI | 220803 | 777434 |
| 019 | Roches stériles | YDD005 5 | 28,9 | 29,7 | 1_OV_LA T | 221322 | 777237 |
| 020 | Roches stériles | YDD005 5 | 46 | 46,5 | 2_SAPRO L | 221313 | 777237 |
| 021 | Roches stériles | YDD005 5 | 115,74 | 116,29 | 5_BAS_V C | 221279 | 777236 |
| 023 | Roches stériles | YDD005 6 | 65,62 | 66,2 | 4_FR_OXI | 221458 | 776688 |
| 024 | Roches stériles | YDD005 6 | 179,28 | 179,77 | 6_BAS_P O | 221401 | 776687 |
| 025 | Roches stériles | YDD005 6 | 212,54 | 213,19 | 5_BAS_V C | 221385 | 776687 |
| 026 | Roches stériles | YDD005 9 | 58,36 | 58,77 | 5_BAS_V C | 220802 | 777487 |
| 027 | Roches stériles | YDD005 9 | 98,69 | 99,08 | 6_BAS_P O | 220807 | 777487 |
| 030 | Roches stériles | YDD006 7 | 40,63 | 41,1 | 7_GD_PO R | 220914 | 777285 |
| 031 | Roches stériles | YDD007 3 | 37,35 | 38,09 | 2_SAPRO L | 220915 | 776685 |
| 032 | Roches stériles | YDD007 3 | 105 | 105,37 | 5_BAS_V C | 220880 | 776683 |
| 033 | Roches stériles | YDD007 6 | 157 | 157,5 | 6_BAS_P O | 221115 | 776692 |
| 034 | Roches stériles | YDD007 6 | 183,05 | 183,5 | 5_BAS_V C | 221102 | 776693 |

| Référence de l'échantillon | Type d'échantillon | Forage | Échantillon né depuis (m) | Échantillon né vers (m) | Lithologie | X (m, UTM) | Y (m, UTM) |
|----------------------------|--------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------|------------|------------|
| 037 | Roches stériles | YDD008 2 | 59,3 | 59,62 | 3_SAPRO K | 221555 | 776886 |
| 038 | Roches stériles | YDD008 2 | 129,06 | 129,64 | 7_GD_PO R | 221523 | 776883 |
| 039 | Roches stériles | YDD008 2 | 182,25 | 182,67 | 5_BAS_V C | 221498 | 776881 |
| 042 | Roches stériles | YDD008 4 | 66 | 66,37 | 3_SAPRO K | 220956 | 776486 |
| 043 | Roches stériles | YDD008 4 | 90 | 90,39 | 5_BAS_V C | 220944 | 776486 |
| 044 | Roches stériles | YDD009 0 | 125,38 | 126 | 6_BAS_P O | 221117 | 777087 |
| 045 | Roches stériles | YDD009 4 | 79,15 | 79,87 | 5_BAS_V C | 221698 | 777489 |
| 046 | Roches stériles | YDD009 5 | 195 | 195,43 | 6_BAS_P O | 221684 | 777093 |
| 047 | Roches stériles | YDD009 5 | 246,48 | 247,04 | 5_BAS_V C | 221660 | 777096 |
| 050 | Roches stériles | YDD009 8 | 51,09 | 51,67 | 6_BAS_P O | 221076 | 777287 |
| 051 | Roches stériles | YDD010 5 | 18 | 18,64 | 2_SAPRO L | 221330 | 777784 |
| 052 | Roches stériles | YDD010 9 | 2,1 | 2,38 | 1_OV_LA T | 220951 | 776786 |
| 053 | Roches stériles | YDD010 9 | 32,1 | 33,8 | 3_SAPRO K | 220936 | 776787 |
| 054 | Roches stériles | YDD010 9 | 48,6 | 49,5 | 4_FR_OXI | 220928 | 776787 |
| 055 | Roches stériles | YDD010 9 | 89,3 | 89,86 | 5_BAS_V C | 220909 | 776789 |
| 058 | Roches stériles | YDD012 1 | 41,95 | 42,72 | 2_SAPRO L | 220948 | 776586 |
| 059 | Roches stériles | YDD012 1 | 112 | 112,35 | 5_BAS_V C | 220913 | 776586 |
| 060 | Roches stériles | YDD012 2 | 49,3 | 50 | 1_OV_LA T | 221288 | 776887 |
| 061 | Roches stériles | YDD013 0 | 68 | 68,55 | 2_SAPRO L | 221099 | 776786 |
| 062 | Roches stériles | YDD013 0 | 160,06 | 160,75 | 6_BAS_P O | 221053 | 776785 |
| 063 | Roches stériles | YDD013 5 | 115,98 | 116,5 | 6_BAS_P O | 221576 | 777488 |
| 066 | Roches stériles | YDD013 7 | 138,02 | 138,42 | 5_BAS_V C | 221592 | 777286 |
| 069 | Roches stériles | YDD013 8 | 52 | 52,27 | 5_BAS_V C | 221635 | 777389 |
| 070 | Roches stériles | YDD013 8 | 206 | 206,65 | 7_GD_PO R | 221557 | 777392 |
| 071 | Roches stériles | YDD014 0 | 13,6 | 14,3 | 2_SAPRO L | 221548 | 777588 |
| 077 | Roches stériles | YDD014 7 | 9,48 | 10 | 1_OV_LA T | 221421 | 777688 |
| 078 | Roches stériles | YDD014 7 | 27 | 27,6 | 2_SAPRO L | 221413 | 777688 |
| 079 | Roches stériles | YDD014 7 | 49 | 49,6 | 3_SAPRO K | 221404 | 777689 |
| 080 | Roches stériles | YDD014 7 | 72 | 72,35 | 4_FR_OXI | 221394 | 777689 |
| 081 | Roches stériles | YDD014 7 | 100 | 100,4 | 5_BAS_V C | 221382 | 777689 |

| Référence de l'échantillon | Type d'échantillon | Forage | Échantillon né depuis (m) | Échantillon né vers (m) | Lithologie | X (m, UTM) | Y (m, UTM) |
|----------------------------|--------------------------|---------|---------------------------|-------------------------|------------|------------|------------|
| 082 | Roches stériles | YDD0147 | 113,98 | 114,31 | 6_BAS_PO | 221376 | 777689 |
| 083 | Roches stériles | YDD0148 | 6,1 | 6,53 | 2_SAPROL | 221573 | 777189 |
| 084 | Roches stériles | YDD0150 | 15,4 | 15,85 | 2_SAPROL | 221552 | 777389 |
| 085 | Roches stériles | YDD0150 | 188 | 188,39 | 5_BAS_VC | 221467 | 777384 |
| 086 | Roches stériles | YDD0151 | 83 | 83,3 | 4_FR_OXI | 221442 | 777088 |
| 087 | Roches stériles | YDD0151 | 115 | 115,43 | 5_BAS_VC | 221427 | 777088 |
| 088 | Roches stériles | YDD0152 | 28 | 29,25 | 2_SAPROL | 221568 | 776990 |
| 089 | Roches stériles | YDD0152 | 63,02 | 63,43 | 5_BAS_VC | 221551 | 776991 |
| 090 | Roches stériles | YDD0152 | 72,99 | 73,32 | 6_BAS_PO | 221546 | 776991 |
| 091 | Roches stériles | YDD0155 | 75,1 | 75,52 | 3_SAPROK | 221324 | 777587 |
| 092 | Roches stériles | YDD0155 | 155 | 155,4 | 5_BAS_VC | 221285 | 777587 |
| 093 | Roches stériles | YDD0157 | 49,5 | 50 | 2_SAPROL | 221518 | 776788 |
| 094 | Roches stériles | YDD0157 | 70,85 | 71,28 | 4_FR_OXI | 221507 | 776788 |
| 095 | Roches stériles | YDD0157 | 131 | 131,38 | 5_BAS_VC | 221478 | 776788 |
| 101 | Roches stériles | YDD0039 | 10,23 | 11,15 | 1_OV_LAT | 221032 | 777587 |
| 102 | Roches stériles | YDD0104 | 50,5 | 51,35 | 1_OV_LAT | 221287 | 776686 |
| 028 | Matériau de construction | YDD0065 | 106,47 | 106,85 | 5_BAS_VC | 221359 | 776838 |
| 029 | Matériau de construction | YDD0065 | 117,82 | 118,22 | 5_BAS_VC | 221353 | 776838 |
| 035 | Matériau de construction | YDD0079 | 60,26 | 60,89 | 5_BAS_VC | 221505 | 777489 |
| 036 | Matériau de construction | YDD0079 | 76,32 | 76,87 | 5_BAS_VC | 221497 | 777489 |
| 040 | Matériau de construction | YDD0082 | 81,36 | 81,93 | 5_BAS_VC | 221545 | 776885 |
| 041 | Matériau de construction | YDD0082 | 100,39 | 100,88 | 5_BAS_VC | 221536 | 776884 |
| 048 | Matériau de construction | YDD0095 | 59,09 | 59,53 | 5_BAS_VC | 221751 | 777088 |
| 049 | Matériau de construction | YDD0095 | 72 | 72,5 | 5_BAS_VC | 221745 | 777088 |
| 056 | Matériau de construction | YDD0116 | 53,56 | 53,96 | 5_BAS_VC | 221234 | 777587 |
| 064 | Matériau de construction | YDD0135 | 87,66 | 88,02 | 6_BAS_PO | 221591 | 777488 |
| 065 | Matériau de construction | YDD0135 | 107,19 | 107,61 | 6_BAS_PO | 221580 | 777488 |
| 067 | Matériau de construction | YDD0137 | 47,02 | 47,35 | 5_BAS_VC | 221637 | 777288 |
| 068 | Matériau de construction | YDD0137 | 61,83 | 62,1 | 5_BAS_VC | 221630 | 777288 |
| 072 | Matériau de construction | YDD0140 | 92,94 | 93,47 | 5_BAS_VC | 221509 | 777589 |

| Référence de l'échantillon | Type d'échantillon | Forage | Échantillon né depuis (m) | Échantillon né vers (m) | Lithologie | X (m, UTM) | Y (m, UTM) |
|----------------------------|--------------------------|-------------|---------------------------|-------------------------|--------------|------------|------------|
| 073 | Matériau de construction | YDD014 5 | 75,58 | 75,92 | 5_BAS_V C | 221646 | 776987 |
| 074 | Matériau de construction | YDD014 5 | 112,67 | 113 | 5_BAS_V C | 221628 | 776986 |
| 075 | Matériau de construction | YDD014 6 | 95,28 | 95,68 | 5_BAS_V C | 221631 | 776890 |
| 076 | Matériau de construction | YDD014 6 | 108,29 | 108,74 | 5_BAS_V C | 221624 | 776890 |
| 096 | Matériau de construction | YDD015 7 | 87,45 | 87,73 | 5_BAS_V C | 221499 | 776788 |
| 097 | Matériau de construction | YDD015 7 | 110,47 | 110,9 | 5_BAS_V C | 221488 | 776788 |
| 098 | Matériau de construction | YDD014 6 | 21,6 | 22,1 | 2_SAPRO L | 221667 | 776889 |
| 099 | Matériau de construction | YDD015 7 | 17,5 | 19,1 | 2_SAPRO L | 221533 | 776788 |
| 100 | Matériau de construction | YDD006 5 | 28,4 | 29 | 2_SAPRO L | 221398 | 776838 |

Annexe E

Certificats de résultats SGS

Annexe F

Rapports de résultats RHUL

Annexe G

Certificats de résultats ALcontrol