

Titre: Approche de caractérisation géoenvironnementale axée sur
Title: l'utilisation des concepts géométallurgiques

Auteur: Denys Vermette
Author:

Date: 2018

Type: Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis

Référence: Vermette, D. (2018). Approche de caractérisation géoenvironnementale axée sur
Citation: l'utilisation des concepts géométallurgiques [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. <https://publications.polymtl.ca/3069/>

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/3069/>
PolyPublie URL:

Directeurs de recherche: Isabelle Demers, & Mostafa Benzaazoua
Advisors:

Programme: Génie minéral
Program:

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

APPROCHE DE CARACTÉRISATION GÉOENVIRONNEMENTALE AXÉE SUR
L'UTILISATION DES CONCEPTS GÉOMÉTALLURGIQUES

DENYS VERMETTE

DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES

(GÉNIE MINÉRAL)

AVRIL 2018

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

Ce mémoire intitulé :

APPROCHE DE CARACTÉRISATION GÉOENVIRONNEMENTALE AXÉE SUR
L'UTILISATION DES CONCEPTS GÉOMÉTALLURGIQUES

présenté par : VERMETTE Denys

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. Bussière Bruno, Ph. D., président

Mme Demers Isabelle, Ph. D., membre et directrice recherche

M. Benzaazoua Mostafa, Ph. D., membre et codirecteur de recherche

M. Plante Benoît, Ph. D., membre

M. Pabst Thomas, Ph. D., membre

DÉDICACE

À mon épouse Johanne

À mon fils Jonathan

REMERCIEMENTS

Un merci très spécial à ma directrice Mme Isabelle Demers ainsi qu'à mon codirecteur M. Mostafa Benzaazoua pour leurs supervisions et leurs grandes disponibilités pendant toute la durée de ce projet de maîtrise.

Je tiens également à remercier la Chaire de recherche du Canada sur l'intégration de l'environnement dans le cycle de vie d'une mine ainsi que l'organisme Mitacs (programme Mitacs accélération) pour leurs appuis financiers ainsi qu'à l'URSTM pour la mise à disposition des différents laboratoires et équipements nécessaires à la réalisation de ce projet.

Un très gros merci à toute l'équipe de techniciens, de professionnels et étudiants stagiaires de l'URSTM qui ont grandement contribué à la réussite de ce projet que ce soit par la réalisation d'analyses chimiques et de propriétés physiques des échantillons ou soit par l'assistance lors des travaux en laboratoires et de rédaction du mémoire. Merci également à Francine Fallara pour son expérience et sa contribution à la réalisation de la structuration des données et des requêtes pour le modèle géoenvironnemental 3D.

Un merci particulier à Mines Agnico Eagle ltée pour leurs contributions matérielles et financières ainsi qu'à M. Raphaël Mermillot-Blondin et M. Jean-François Lagueux pour les nombreuses discussions et échanges d'information sur le projet Akasaba Ouest.

Ce mémoire de maîtrise est dédié spécialement à ma conjointe Johanne et à mon garçon Jonathan pour leurs très grandes compréhensions et patiences envers ma non-disponibilité pendant de nombreuses soirées et fins de semaine.

RÉSUMÉ

L'industrie minière génère un volume important de roches stériles qui sont généralement entreposées dans des haldes en surface. Ces stériles incluent les différentes lithologies encaissantes du gisement, chacune d'entre elles étant caractérisée par des compositions minéralogique et chimique spécifiques. Bien que leur potentiel économique soit très restreint, ces lithologies peuvent contenir une certaine proportion des métaux potentiellement à risque pour l'environnement. La circulation et le contact de l'eau et de l'oxygène avec les minéraux des lithologies des stériles peuvent mener au déclenchement de réactions géochimiques. L'oxydation des minéraux sulfureux (ex. pyrite, chalcopirite) conduit à l'acidification des eaux minières et la dissolution de certains métaux pour générer un drainage minier acide. Si la proportion de minéraux neutralisants (carbonates, silicates) est suffisante pour neutraliser l'acidité, il est possible de produire un drainage neutre qui peut tout de même contenir des métaux lourds (ex. Cu, Mn) à des concentrations excédant les normes et réglementations en vigueur pour l'industrie minière. Devant ces problématiques de risques environnementaux, la caractérisation des stériles miniers devient donc essentielle pour évaluer et prédire leur potentiel de contamination dans l'écosystème.

Un nouveau protocole nommé «protocole de caractérisation géoenvironnementale» et similaire à ceux utilisés en géométallurgie est développé pour élaborer des prédictions de risques de contamination en métaux et de génération de drainage minier acide ou neutre contaminé. Ce protocole aide également à optimiser la gestion des stériles en surface à la suite de leur extraction. Le protocole requiert la compilation et l'acquisition de données provenant de travaux de pétrographie, de minéralogie, de géochimie et de caractérisation environnementale.

Le protocole est subdivisé en quatre étapes dont chacune est associée à une phase de développement d'un projet minier. La première étape est réalisée lors de la phase exploration d'une propriété minière. Cette phase comprend la compilation et l'acquisition des données pétrographiques, minéralogiques, géochimiques et métallogéniques disponibles dans les journaux de sondages et les rapports de travaux d'exploration des entreprises. Des échantillons complémentaires de carotte de forage peuvent être recueillis pour compléter les analyses disponibles dans la base de données. L'ensemble de ces données est par la suite traité pour effectuer une première classification et discrimination des différentes unités lithologiques encaissantes du gisement de même qu'une caractérisation environnementale préliminaire. Par la suite, un certain

nombre d'échantillons représentatifs des différentes unités de minerais et de stériles miniers est sélectionné pour être soumis à des essais statiques comportant la seconde étape du protocole de caractérisation géoenvironnementale.

La seconde étape se déroule lors de la phase de mise en valeur du gisement et comprend une évaluation détaillée des paramètres environnementaux qui seront nécessaires pour répondre aux exigences des agences gouvernementales. Les données obtenues à cette étape proviennent des données géochimiques de teneurs en métaux ainsi qu'en S_{total} et C_{total} , d'essais de lixiviation de courte durée et des essais statiques chimiques et minéralogiques. Les résultats obtenus permettent d'identifier les métaux représentant un risque d'être lixivié et d'obtenir une classification du type de résidus miniers ainsi qu'évaluer les risques de génération d'un drainage minier acide (DMA).

La troisième étape du protocole se déroule lors de la phase d'étude de pré faisabilité du projet minier. Les travaux proposés auront pour objectifs de préciser et de caractériser la nature, la source et l'intensité des problématiques environnementales du gisement. Ces travaux consistent à réaliser des essais cinétique en laboratoire afin d'évaluer certains paramètres essentiels à la caractérisation du risque environnemental. Des études de minéralogie quantitative sont proposées afin d'interpréter les résultats obtenus lors des essais cinétiques. Ces résultats permettent d'estimer les paramètres physico-chimiques ainsi que le contenu et la ou les sources de métaux délétères susceptibles d'être lixiviés et incorporés dans les eaux de surface. Les analyses chimiques de lixiviats issus des essais cinétiques aident à confirmer ou infirmer le potentiel de chacune des lithologies à générer un drainage minier acide ou neutre contaminé.

La quatrième étape intervient lorsque le projet atteint la phase d'étude de faisabilité et consiste d'abord à synthétiser l'ensemble des paramètres pétrographiques, minéralogiques, géochimiques et environnementaux recueillis pour chacune des lithologies aux phases précédentes du projet minier. Ces paramètres sont intégrés dans des cellules géoenvironnementales de dimension restreintes qui permettent d'effectuer, au moyen de requêtes, des corrélations et des regroupements spatiaux pour mener à la génération de domaines géoenvironnementaux. Les subdivisions entre les différents domaines géoenvironnementaux sont principalement basées sur le type de risques environnementaux susceptibles d'être générés lorsque les lithologies qui les composent seront exposées aux processus d'altération météorique. Ces domaines sont les principaux composants du

modèle géoenvironnemental 3D spécifique à un gisement qui pourra être couplé au modèle géologique de développement du gisement afin d'optimiser la gestion des travaux d'exploitation.

Les données du gisement Akasaba Ouest (5,12 Mt à 0,87 g/t Au et 0,49% Cu) de la minière Mines Agnico Eagle Ltée. dans le secteur de Val-d'Or ont été utilisées pour élaborer et développer le schéma global du protocole de caractérisation géoenvironnemental. Ce gisement, que l'entreprise prévoit mettre en production en 2018, comprendra une fosse à ciel ouvert et l'entreposage des stériles dans des haldes près de la fosse. L'interprétation des données géochimiques recueillies à la phase exploration a mené à la subdivision des lithologies encaissantes du gisement en 7 unités lithogéochimiques. Les trois premières unités sont des volcanites massives à fracturées composées de basaltes andésitiques (unité 1) et ferro titanifères (unité 2) ainsi que d'andésites (unité 3). Les unités 4A et 5A correspondent à des volcanites, volcanoclastites et intrusions de composition dacitique incluant des porphyres quartzo-feldspathiques (QFP). Ces roches dacitiques sont massives ou recoupées par une schistosité modérément à fortement pénétrative. Les unités 4A et 5A ont été discriminées sur la base de leurs rapports Ti/Zr, Al_2O_3/TiO_2 et Zr/Y distincts. Les unités 4B et 5B sont interprétées comme des andésites alcalines se présentant sous formes massives ou recoupées par une schistosité faiblement à modérément pénétrative. Elles sont également discriminées sur la base des rapports Ti/Zr, Al_2O_3/TiO_2 et Zr/Y distincts.

Trois domaines géoenvironnementaux incluant deux sous-domaines sont proposés pour la caractérisation environnementale et la gestion des stériles pour le projet Akasaba Ouest. Le Domaine mafique est subdivisé en sous-domaines basaltique et sous-domaine andésitique. Le sous-domaine basaltique comprend les unités 1 et 2 alors que le sous-domaine andésitique est associé à l'unité 3. Les lithologies des deux sous-domaines sont composées d'amphibole, d'albite, quartz, d'épidote, d'orthose, de chlorite, de calcite et de magnétite (unités 1 et 2). Ces volcanites contiennent de traces à 3% de pyrite et chalcopryrite xénomorphes à automorphes de 5 µm à 1 mm. Les typologies de sulfures sont disséminées, massives et en veinules. Une partie des échantillons des unités 1 et 2 composera les stériles alors que l'autre partie sera associée au minerai. Les teneurs de métaux délétères (Mo, Ba, Cr, Ni, Co et Mn) pourraient représenter un risque pour l'écosystème local et les essais TCLP indiquent que les échantillons des unités 1 et 3 ont lixivié du Cu à des teneurs supérieures au critère Cu du RESIE. Entre 50% et 90% des concentrations en S_{total} sont $\leq 0,3\%$ et les concentrations en C_{total} sont $\leq 0,73\%$. Ces résultats préliminaires indiquent un type de résidus miniers à faibles risques, mais que seule l'unité 1 est lixiviable pour le Cu avec des risques

allant d'incertain à probable de générer de DMA. Les résultats des essais cinétiques indiquent que les eaux de drainage des sept unités seraient caractérisées par un pH entre 7,0 et 8,0 ainsi que de faibles valeurs de conductivité (25 à 100 μS) et d'alcalinité (≤ 10 à 60 mg/L CaCO_3). Les valeurs d'acidité sont généralement ≤ 5 mg/L CaCO_3 . Les taux d'épuisement et les droites d'oxydo-neutralisation pour les basaltes andésitiques suggèrent un potentiel nul à incertain de génération acide. Les essais en mini cellule d'altération ont cependant mis en évidence la lixiviation de manganèse pour les basaltes andésitiques dont la source correspondrait à la calcite.

Le Domaine dacitique est également subdivisé en deux sous-domaines. Le sous-domaine dacite minéral comprend les lithologies des unités 4A et 5A composées de quartz, albite, séricite, chlorite et orthose. Ces unités constituent en grande partie le minéral du gisement qui se caractérise par $\leq 5\%$ pyrite et $\leq 1\%$ chalcopryrite altérée par de la digénite. Les sulfures sont xénomorphes à automorphes, de 10 μm à localement 5 mm et sont sous formes disséminées, de minces filons dans la schistosité ainsi qu'en remplissage de fractures. Les teneurs en Cu, le Ba et le Mo des unités 4A et 5A pourraient représenter un risque pour l'écosystème local. Une partie des résidus demeure à faible risque, mais lixiviable pour le Cu alors que les concentrations en S_{total} et C_{total} indiquent qu'au moins 30% des échantillons, principalement les volcanites et volcanclastites, ont un potentiel probable de générer du DMA. Pour ces échantillons, le Ca s'épuise plus rapidement que le S_{total} . Le sous-domaine andésites alcalines minéral est associé à l'unité 4B et possède une composition minéralogique ainsi que des teneurs en métaux représentant un risque environnemental similaire aux unités 4A et 5A. Elles contiennent $\leq 2\%$ de pyrite et $\leq 1\%$ de chalcopryrite altérée localement en digénite. Une partie des andésites de l'unité 4B appartient au minéral et l'autre aux stériles. Les sulfures sont xénomorphes à automorphe, sous forme disséminés et de minces filons et leurs dimensions varient de 5 μm à 6 mm. Une partie des résidus est à faible risque, mais lixiviable pour le Cu. Les concentrations en S_{total} et C_{total} indiquent qu'au moins 33% des échantillons ont un potentiel probable de générer du DMA. Les essais cinétiques confirment le potentiel de lixiviation pour le Cu ainsi qu'une très faible lixiviation du Mn dont la source probable serait la calcite.

Le Domaine intermédiaire est caractérisé par les andésites alcalines de l'unité 5B qui se présentent sous forme massive à schisteuse et dont la composition minéralogique se compose d'albite, de quartz, de séricite, de chlorite, de calcite et de paragonite normative. Elles contiennent $< 5\%$ de pyrite et de chalcopryrite sous formes xénomorphes à automorphes de 2 μm à 2 mm. Les sulfures

sont observés sous forme de dissémination ainsi que d'amas présent dans la schistosité. Les teneurs en Cu, Mo et Ba peuvent représenter un risque environnemental. Une partie des résidus d'andésites alcalines sont à faibles risques, mais lixiviable pour le Cu alors que les concentrations en S_{total} et C_{total} suggèrent que 36% des échantillons analysés sont acidogènes. Les résultats des essais cinétiques sur quelques échantillons suggèrent un potentiel incertain à probable de génération d'un DMA car le calcium s'épuise plus rapidement que le S_{total} pour ces échantillons. Certains échantillons ont également lixivié du Mn lors de ces essais.

Les projections spatiales des domaines géoenvironnementaux ont permis de représenter les différents secteurs de la fosse selon le degré de risque environnemental des lithologies. Le premier secteur est situé au centre de la fosse inclus les lentilles de minerai et les lithologies encaissantes du domaine dacitique. Bien que ces dernières représentent un risque important de génération d'un DMA, aucun plan de gestion n'est prévu pour les unités du domaine dacitique puisque les rejets seront entreposés dans le parc à résidus d'une autre mine. Cependant, trois lentilles spécifiques de lithologies du domaine dacitique caractérisées par un risque nul à faible de génération d'acide pourront être entreposées dans une halde spécifique en surface sur le site Akasaba Ouest. Cette halde contiendra du matériel non générateur d'acide ayant un potentiel en lixiviation des métaux faible, voire incertain.

Le domaine mafique est localisé dans le secteur nord de la fosse et se compose majoritairement de lithologies caractérisées par un risque incertain de génération d'un DMA. Bien que les résidus pourraient être entreposés avec ceux non générateurs du domaine dacitique, la problématique de lixiviation du manganèse et la possibilité d'une partie des lithologies des unités 1 et 2 puissent générer un DMA nécessite que l'on considère de les entreposer dans une halde indépendante. Les lithologies du domaine intermédiaire sont localisées dans le secteur sud de la fosse ainsi que dans l'extension ouest du domaine mafique. Bien que dans l'ensemble, elles représentent un risque incertain de génération d'un DMA, certaines associées à un horizon de tuf dacitique minéralisé sont caractérisées par un risque possible de génération acide. Les caractéristiques et la distribution spatiale des lithologies du domaine intermédiaire nous amènent à proposer d'entreposer celles dont le risque environnemental est incertain avec les lithologies non génératrices d'acide et peu lixiviable du domaine dacitique. Les stériles potentiellement générateurs d'acide de l'unité 5B seront entreposés dans une troisième halde pour en assurer la gestion à long terme.

L'application du protocole de caractérisation géoenvironnementale par une entreprise minière comporte de nombreux avantages dont : a) améliorer la synergie de travail entre les différents départements aidera l'entreprise à économiser temps et argent tout en permettant d'améliorer la qualité et l'efficacité de la caractérisation environnementale, b) mettre en place une approche structurée d'évaluation et de caractérisation environnementales qui sera initiée dès les premiers travaux d'exploration et qui se poursuivra jusqu'à la phase de faisabilité d'un projet, c) initier la caractérisation environnementale sur un très grand nombre d'échantillons dont les coûts d'acquisition sont initialement associés au budget d'exploration, d) permettre à l'entreprise d'être proactive et de rechercher, dès le début du projet minier, des solutions d'atténuation et de contrôle des sources de génération de DMA et/ou de lixiviation de contaminants, e) bonifier la gestion du risque environnemental conduira, à long terme, à une optimisation des coûts de restauration du gisement d'Akasaba Ouest au stade de post-fermeture et f) améliorer l'image de responsabilité corporative de l'entreprise minière ce qui aura pour effet de favoriser l'acceptabilité sociale des citoyens et éventuellement l'appui financier de firmes d'investissement.

ABSTRACT

The mining industry generates a large volume of waste rock that is generally stored in surface disposal areas. These rocks include the different host lithologies of the deposit, each characterized by specific mineralogical and chemical compositions. Although their economic potential is limited, these lithologies may contain a certain proportion of elements potentially at risk for the environment. The contact between water, oxygen and the minerals of the waste rock can lead to the trigger geochemical reactions such as the oxidation of sulphide minerals (eg. pyrite, chalcopyrite) which can lead to the acidification of water and the dissolution of metals. If the proportion of neutralizing minerals (carbonates, silicates) is sufficient to neutralize the acidity produced by sulphide oxidation, it is possible to produce a neutral mine drainage that contain heavy metals (eg. Cu, Mn) at concentrations exceeding the regulation criteria. Given these environmental issues, the characterization of mine waste rock becomes essential to assess and predict their contamination potential for the ecosystem.

A new protocol named "geoenvironmental characterization protocol" and similar to those used in geometallurgy is developed to asses metal contamination risk and generation of contaminated acid or neutral mine drainage. This protocol will also help to optimize waste rock management. The protocol requires the compilation and acquisition of data from petrography, mineralogy, geochemistry and environmental parameters.

The protocol is subdivided into four stages, each of which is associated with a development phase related to a mining project. The first step is carried out during the exploration phase of a mining property. This phase includes the compilation and acquisition of petrographic, mineralogical, geochemical and metallogenic data available in diamond drill logs and corporate exploration reports. Additional drill core samples may be collected to supplement the analyses available in the database. All these data are subsequently processed to perform a first classification and discrimination of the different lithological units surrounding the deposit as well as a preliminary environmental characterization. Subsequently, a number of representative samples of the different ore and waste units are selected for static testing to be carry out with the second stage of the geoenvironmental characterization protocol.

The second step takes place when mineral resource estimations become available and includes a detailed assessment of the environmental parameters that will be necessary to meet the requirements of the government agencies. The data used at this stage are associated to metal, total

sulphur and carbon geochemical analyses, short-term leaching test as well as chemical and mineralogical static tests. The results are used to a) identify which metal(s) could represent a leaching risk by weathering processes, b) obtain a classification of the type of mine waste and c) evaluate the risks of generating acid mine drainage (AMD).

The third stage of the protocol takes place during the pre-feasibility study phase of the mining project. The proposed work will aim to clarify and characterize the nature, source and intensity of the deposit's environmental issues. This work consists of conducting kinetics tests in order to evaluate essential parameters to characterize the environmental risk. Quantitative mineralogy studies are proposed to interpret the results obtained during the kinetic tests. These results make it possible to estimate the physicochemical parameters as well as the content and the source (s) of deleterious metals likely to be leached. Chemical analyses of leachate from kinetic tests will be used to confirm or negate the potential for each lithology to generate acid or contaminated neutral mine drainage.

The fourth step occurs when the project reaches the feasibility study phase and consists firstly of synthesizing all the petrographic, mineralogical, geochemical and environmental parameters collected for each lithologies in the previous phases of the mining project into a model. These parameters are embedded in small-scale geoenvironmental cells that can be used to undertake spatial correlations and groupings through queries to generate geoenvironmental domains. The subdivisions between the different geoenvironmental domains are mainly based on the environmental risks of the lithologies. These domains are the main components of the deposit-specific 3D geoenvironmental model which can then be merged with the geological mining development model to optimize the operation.

Data from the Akasaba West deposit (5.12 Mt to 0.87 g / t Au and 0.49% Cu) located in the area of Val-d'Or area were used to develop the global scheme of the geoenvironmental characterization protocol. This deposit should start production in 2018 and will include an open pit and the storage of waste rock near the pit. The interpretation of the geochemical data collected during the exploration phase led to the subdivision of the host lithologies into 7 litho-geochemical units. The first three units are massive to fractured volcanics composed of andesitic basalt (unit 1), ferro-titaniferous bsalt (unit 2) and andesites (unit 3). Units 4A and 5A correspond to volcanics volcanoclastites, and intrusions of dacitic composition including quartzo-feldspar porphyries (QFP). These dacitic rocks are massive or affected by a moderate to strong penetrating schistosity.

Units 4A and 5A were discriminated based on their Ti / Zr, Al₂O₃ / TiO₂ and Zr / Y ratios. Units 4B and 5B are interpreted as alkaline andesites occurring as massive flows or intersected by a weak to moderate schistosity. They are also discriminated by their distinct Ti / Zr, Al₂O₃ / TiO₂ and Zr / Y ratios.

For the Akasaba West project, three geoenvironmental domains including two subdomains are proposed for the environmental characterization and waste rock management. The Mafic Domain is subdivided into basaltic and andesitic subdomains. The basaltic subdomain includes units 1 and 2 while the andesitic subdomain is associated to andesites (unit 3). The mineral composition related to these two subdomains is characterized by amphibole, albite, quartz, epidote, orthoclase, chlorite, calcite and magnetite (units 1 and 2). These volcanic rocks also contain from traces to 3%, xenomorphic to automorphic pyrite and chalcopyrite with grain size ranging from 5 µm to 1 mm. Sulphides occur as disseminated, massive and veinlets. Some samples from units 1 and 2 will be considered as waste rock while some others will be associated to the ore. Content of some deleterious metals (Mo, Ba, Cr, Ni, Co and Mn) could pose a risk to the local ecosystem. TCLP tests indicate that samples from units 1 and 3 leached Cu at levels above the recommended criterion for groundwater quality (RESIE). Between 50% and 90% of samples have S_{total} concentrations <0.3% and C_{total} concentrations < 0.73%. Preliminary results indicate that waste rock should be classified as low-risk. Oxidation-neutralization rates for andesitic basalts suggest a potential zero to uncertain acid generation. However, the weathering cell test demonstrated that manganese is leached from andesitic basalts. The source for manganese corresponds to calcite.

The Dacitic Domain is also subdivided into two subdomains. The ore sub-domain includes the lithologies of units 4A and 5A mainly composed of quartz, albite, sericite, chlorite and orthoclase. For the Akasaba West deposit, these units account for most part of the ore characterized by <5% pyrite and <1% chalcopyrite partly to completely altered by digenite. The sulphides are xenomorphic to automorphic with grain size from 10 µm to locally 5 mm. Sulphides occur as dissemination, as thin veins parallels to schistosity as well as fracture filling. The Cu, Ba and Mo contents of units 4A and 5A could pose a risk to the local ecosystem. Part of the waste rocks remains at low risk, and some are leachable for Cu, whereas S_{total} and C_{total} concentrations indicate that at least 30% of the samples, mainly volcanics and volcanclastites, have a definite potential to generate AMD. For these samples, and based on the leachates analyses from weathering cell, calcium depleted faster than S_{total}. The subdomain «alkaline andesites ore» correspond to unit 4B

and is characterized by a mineralogical assemblages and metal contents representing an environmental risk similar to units 4A and 5A. They contain <2% pyrite and <1% chalcopyrite locally altered to digenite. Part of the alkaline andesites (unit 4B) is ore and part is associated to waste rock. The sulphides are xenomorphic to automorphic and occur as disseminated or thin veinlets. Their grain sizes range from 5 μm to 6 mm. Some samples are considered as low risk and some are leachable for Cu. Concentrations in S_{total} and C_{total} indicate that 33% of the samples have a definite potential to generate AMD. The kinetic tests confirmed the leaching potential for Cu as well as a very low potential for Mn leaching whose probable source would be calcite.

The Intermediate Domain is characterized by the alkaline andesites of unit 5B. These rocks occur as massive to schistose with a mineralogical dominated by albite, quartz, sericite, chlorite, calcite and normative paragonite. They contain $\leq 5\%$ pyrite and chalcopyrite in xenomorphic to automorphic forms from 2 μm to 2 mm. Sulphides are observed as disseminations as well as clusters located in the schistosity. Their contents in Cu, Mo and Ba may represent an environmental risk. Some alkaline andesite waste rocks are considered as low risk, and some are leachable for Cu, whereas the S_{total} and C_{total} concentrations suggest that 36% of the unit 5B samples are acidogenic. The kinetic test results on some samples suggest an acid generation potential for generation as calcium depletes faster than S_{total} for these samples. Some samples also leached Mn during these tests.

The spatial projections of the geoenvironmental domains made it possible to represent the different sectors of the pit according to the degree of environmental risk related to host lithologies. The first sector, located at the center of the pit, and includes the ore lenses and their surrounding lithologies related to the dacitic domain. The tailings represent a significant risk of AMD generation, however they will not be stored on site. the tailings will be stored in another mine plan located 25 km of Akasaba West. Three specific lenses of the dacitic domain characterized by a very low risk with low acid generation potential can be stored in a specific pile at the Akasaba West site. This pile will contain non-acid generating material with low to near-zero metal leaching potential.

The mafic domain is located in the northern sector of the pit and is mainly composed of lithologies characterized by a zero to uncertain AMD potential. Although the waste rocks could be stored with those of the dacitic domain considered as non acid generating, the manganese leaching problem and the possibility that a part of units 1 and 2 lithologies could generate a AMD require to store them in an independent pile. The intermediate domain lithologies are located in the southern sector

of the pit and in the western extension of the mafic domain. Although they represent a near zero risk of AMD, some samples associated with a mineralized dacitic tuff horizon represented a potential risk of acid generation. The characteristics and the spatial distribution of the intermediate domain lithologies suggest storing those with very low environmental risk with non-acid generating lithologies from the dacitic domain. Potentially acid generating waste rock from unit 5B could be stored in a third pile for long-term management.

The application of the geoenvironmental characterization protocol by a mining company has many advantages including: a) improving the work synergy between different departments and help the company to save time and money while improving quality and efficiency (b) implement a structured approach to environmental assessment and characterization that will be initiated as early as the first exploration work and will continue until the feasibility phase of a project; c) environmental characterization on a very large number of samples whose acquisition costs are initially associated in the exploration budget, d) allowing the company to be proactive and to seek attenuation and control of AMD and / or metal leaching sources, e) improving the management of environmental risk which will lead to reclamation optimization for the Akasaba West deposit at the post-closure stage and f) improve the corporate social responsibility of the mining and promote the social acceptability by citizens and possibly the financial support from investment firms.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE.....	III
REMERCIEMENTS	IV
RÉSUMÉ.....	V
ABSTRACT	XI
TABLE DES MATIÈRES	XVI
LISTE DES TABLEAUX.....	XIX
LISTE DES FIGURES	XXIV
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	XXVII
LISTE DES ANNEXES	XXX
CHAPITRE 1 INTRODUCTION.....	1
1.1 Problématique de caractérisation et de gestion environnementale des stériles miniers	1
1.2 Législation québécoise de caractérisation des rejets miniers	3
1.2.1 La Directive 019	3
1.2.2 Caractérisations demandées par la Directive 019.....	4
1.3 Contexte géologique du projet Akasaba Ouest	5
1.4 Objectifs du projet	7
1.5 Structure du document.....	8
CHAPITRE 2 MODÈLES GÉOENVIRONNEMENTAUX, GÉOMÉTALLURGIE ET MODÉLISATION 3D - REVUE DE LITTÉRATURE.....	10
2.1 Caractéristiques des modèles géoenvironnementaux	10
2.2 L’approche géométallurgique.....	12
2.2.1 Principes d’application d’un programme de géométallurgie	13
2.2.2 Protocole utilisé lors d’une étude géométallurgique	14

2.2.3	L'approche géométallurgique appliquée à l'environnement.....	15
2.2.4	Approche géométallurgique vs caractérisation environnementale traditionnelle	20
2.2.5	Les défis de l'intégration de l'approche géométallurgique en environnement	21
2.3	Le volet numérique.....	26
2.3.1	Les Systèmes d'Information Géographique	26
CHAPITRE 3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET MÉTHODOLOGIE.....		28
3.1	Compilation des données géologiques et environnementales	28
3.2	Sélection et préparation des échantillons	29
3.3	Méthodes de caractérisation minéralogique	33
3.3.1	Observations macroscopiques et microscopiques	33
3.3.2	Diffraction X	34
3.3.3	Le microscope électronique à balayage.....	34
3.3.4	Logiciels de calculs de minéralogie normative	35
3.4	Méthodes de caractérisation géochimique.....	36
3.4.1	La fluorescence X.....	36
3.4.2	Les spectromètres à source ionisante au plasma et à couplage inductif.....	37
3.4.3	Les essais statiques chimiques avec concentrations en C_{total} et S_{total}	38
3.4.4	Les essais statiques minéralogiques	42
3.5	Méthodologie de création du modèle géoenvironnemental.....	45
3.5.1	Les techniques de modélisation spatiale	45
CHAPITRE 4 PROTOCOLE DE CARACTÉRISATION GÉOENVIRONNEMENTALE... 47		
4.1	Phase Exploration : Caractérisation des unités lithologiques.....	50
4.1.1	Caractérisation géochimique	52
4.1.2	Caractérisation minéralogique.....	81

4.1.3	Sélection d'échantillons représentatifs.....	106
4.2	Caractérisation géoenvironnementale au stade de mise en valeur	107
4.2.1	Évaluation des risques des résidus	109
4.2.2	Évaluation du potentiel de lixiviation et de risques élevés	111
4.2.3	Les essais statiques - Évaluation du caractère acidogène.....	117
4.2.4	Résultats des tests statiques chimiques - Akasaba Ouest.....	120
4.2.5	Les essais statiques minéralogiques	123
4.2.6	Sélection d'échantillons représentatifs.....	124
4.3	Phase de préfaisabilité: Caractérisation environnementale exhaustive	125
4.3.1	Les essais cinétiques.....	125
4.3.2	Les essais d'extraction séquentielle	149
4.3.3	Caractérisation par minéralogie quantitative.....	156
4.4	Phase de faisabilité : Les domaines géoenvironnementaux et la modélisation 3D.....	159
4.4.1	Synthèse des paramètres et définition du domaine géoenvironnemental.....	160
4.4.2	Les domaines géoenvironnementaux du gisement Akasaba ouest.....	162
4.4.3	Représentation spatiale.....	178
4.4.4	Gestion des stériles miniers	192
4.5	Avantages et limites du protocole de caractérisation géoenvironnementale.....	194
4.5.1	Les avantages	194
4.5.2	Les limites	196
CHAPITRE 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES		199
5.1	Conclusions	199
5.2	Perspectives	203
BIBLIOGRAPHIE		206

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4.1: Paramètres géochimiques des unités lithologiques - Akasaba Ouest	54
Tableau 4.2 : Comparaison entre les nomenclatures utilisées lors des travaux	56
Tableau 4.3 : Caractéristiques géochimiques de faciès d'altération et assemblages minéralogiques estimés – Akasaba Ouest.....	67
Tableau 4.4 : Paramètres environnementaux basés sur les teneurs en S_{total} et C_{total} des unités lithologiques - Akasaba Ouest.....	78
Tableau 4.5 : Composition en minéraux normatifs des unités lithogéochimiques.....	100
Tableau 4.6 : Teneurs en métaux Akasaba Ouest et critère générique A de la Province du Supérieur	110
Tableau 4.7 : Résultats des essais TCLP (mg/L) – Akasaba Ouest	114
Tableau 4.8 : Résultats des essais SPLP (mg/L) – Akasaba Ouest	115
Tableau 4.9 : Résultats des essais CTEU-9 (mg/L) - Akasaba Ouest.....	116
Tableau 4.10 : Résultats des essais statiques chimiques et minéralogiques – Akasaba Ouest	121
Tableau 4.11 : Comparaisons des nomenclatures lithologiques et lithogéochimiques	129
Tableau 4.12 : Comparaison des compositions minéralogiques normatives et de diffraction X..	133
Tableau 4.13 : Principales propriétés physiques des échantillons	137
Tableau 4.14 : Prédiction de la qualité du drainage minier basée sur les calculs d'épuisement des essais en mini-cellules d'altération	147
Tableau 4.15 : Caractéristiques des différents domaines géoenvironnementaux – Akasaba Ouest	163
Tableau A.1 : Basaltes andésitiques (unité 1)	219
Tableau A.2 : Basaltes ferro-titanifères (unité 2).....	220
Tableau A.3 : Andésites (unité 3).....	221
Tableau A.4 : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)	222

Tableau A.5 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A).....	224
Tableau A.6 : Andésites alcalines (unité 4B).....	226
Tableau A.7 : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)	227
Tableau A.8 : Intrusions dacitiques (unité 5A).....	228
Tableau A.9 : Andésites alcalines (unité 5B).....	229
Tableau B.1 : Basaltes andésitiques de l'unité 1.....	267
Tableau B.2 : Basaltes ferro-titanifères de l'unité 2.....	268
Tableau B.3. : Andésites de l'unité 3	269
Tableau B.4 : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 4A.....	270
Tableau B.5 : Intrusions dacitiques et QFP de l'unité 4A.....	272
Tableau B.6 : Andésites alcalines de l'unité 4B.....	274
Tableau B.7 : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A.....	275
Tableau B.8 : Intrusions dacitiques de l'unité 5A.....	276
Tableau B.9 : Andésites alcalines de l'unité 5B.....	277
Tableau C.1. : Basaltes andésitiques de l'unité 1.....	279
Tableau C.2 : Basaltes ferro titanifères de l'unité 2.....	279
Tableau C.3. : Andésite de l'unité 3.....	280
Tableau C.4. : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 4A.....	281
Tableau C.5. : Intrusions dacitiques et QFP de l'unité 4A.....	282
Tableau C.6. : Andésites alcalines de l'unité 4B.....	283
Tableau C.7. : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A.....	283
Tableau C.8. : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A.....	284
Tableau C.9. : Andésites alcalines de l'unité 5B.....	285
Tableau D.1 : Basaltes andésitiques (unité 1).....	286

Tableau D.2. Basaltes ferro titanifères (unité 2)	287
Tableau D.3. : Andésites (unité 3).....	288
Tableau D.4. : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)	289
Tableau D.5 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A).....	291
Tableau D.6 : Andésites alcalines (unité 4B).....	293
Tableau D.7. : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)	294
Tableau D.8. Intrusions dacitiques (unité 5A)	295
Tableau D.9. : Andésites alcalines (unité 5B).....	296
Tableau E.1 : Basaltes andésitiques (unité 1).....	340
Tableau E.2 : Basaltes ferro titanifères (unité 2).....	342
Tableau E.3 : Andésites (unité 3).....	344
Tableau E.4 : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A).....	346
Tableau E.5 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)	350
Tableau E.6 : Andésites alcalines (unité 4B)	354
Tableau E.7 : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A).....	356
Tableau E.8 : Intrusions dacitiques (unité 5A).....	358
Tableau E.9 : Andésites alcalines (unité 5B)	360
Tableau F.1 : AKA14 ENV 021 (unité 1)	364
Tableau F.2 : AKA14 ENV 070 (unité 1)	368
Tableau F.3 : AKA14 ENV 064 (unité 4A)	372
Tableau F.4 : AKA14 ENV 004 (unité 4A)	376
Tableau F.5 : AKA14 ENV 085 (unité 4A)	380
Tableau F.6 : AKA14 ENV 033 (unité 4A)	384
Tableau F.7 : AKA14 ENV 067 (unité 4B)	388

Tableau F.8 : AKA14 ENV 035 (unité 5A)	392
Tableau F.9 : AKA14 ENV 051 (unité 5B)	396
Tableau F.10 : AKA14 ENV 053 (unité 5B)	400
Tableau F.11 : AKA14 ENV 075 (unité 5B)	404
Tableau I.1 : Échantillon AKA14 ENV-021 (Basaltes andésitiques : unité 1).....	416
Tableau I.2 : Échantillon AKA14 ENV-070 (Basaltes andésitiques : unité 1).....	416
Tableau I.3 : Échantillon AKA14 ENV-035 (Dacite type 2 unité 5A).....	418
Tableau I.4 : Échantillon AKA14 ENV-053 (Andésite alcaline type 2 unité 5B).....	418
Tableau J.1 : Compositions chimiques moyennes des calcites	420
Tableau J.2 : Compositions chimiques moyennes du quartz	420
Tableau J.3 : Compositions chimiques moyennes de l'albite	420
Tableau J.4 : Compositions chimiques moyennes de l'orthose	421
Tableau J.5 : Compositions chimiques moyennes de l'actinote.....	421
Tableau J.6 : Compositions chimiques moyennes de la séricite	421
Tableau J.7 : Compositions chimiques moyennes de la chlorite.....	421
Tableau J.8 : Compositions chimiques moyennes de la biotite.....	422
Tableau J.9 : Compositions chimiques moyennes de l'épidote	422
Tableau J.10 : Compositions chimiques moyennes de l'apatite.....	422
Tableau J.11: Compositions chimiques moyennes de la titanite (sphène).....	422
Tableau J.12 : Compositions chimiques moyennes du rutile	423
Tableau J.13 : Compositions chimiques moyennes de la wustite	423
Tableau J.14 : Compositions chimiques moyennes de la pyrite	423
Tableau J.15 : Compositions chimiques moyennes de la chalcopryrite	423
Tableau J.15 (suite) : Compositions chimiques moyennes de la chalcopryrite.....	424

Tableau J.16 : Compositions chimiques moyennes de la digénite	424
---	-----

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Géologie régionale du secteur Akasaba Ouest	6
Figure 3-1 : Méthodologie et protocole des travaux de laboratoire	31
Figure 4-1 : Étapes du protocole de caractérisation géoenvironnementale.....	48
Figure 4-2 : Étapes du protocole de caractérisation géoenvironnementale - Phase Exploration ...	51
Figures 4-3 : Classification lithogéochimique des lithologies d'Akasaba Ouest.....	55
Figure 4-4 : Diagramme Al_2O_3/TiO_2 vs Ti/Zr de discrimination lithogéochimique.....	57
Figure 4-5 : Diagrammes de discrimination lithogéochimique Zr/Y vs Al_2O_3/TiO_2	57
Figures 4-6 : Diagrammes «Box Plot» et vecteurs de faciès d'altération – Akasaba Ouest	65
Figure 4-7 : Diagrammes RPN_{Carb} vs S_{total} des unités lithologiques	79
Figure 4-8 : Photos de carottes de forages – Basaltes andésitiques et andésites.....	83
Figure 4-9 : Micrographies optiques en réflexion	84
Figure 4-10 : Photos de carotte de forages - Dacites, tufs et intrusions dacitiques, minerais	87
Figure 4-11 : Micrographies optiques en réflexion	88
Figure 4-12 : Micrographies optiques en réflexion - Andésites alcalines (unité 4B)	91
Figure 4-13 : Photos de carottes de forages - tuf dacitique et d'une intrusion porphyrique	94
Figure 4-14 : Micrographies optiques en réflexion – Dacite type #2 (Unité 5A).....	95
Figure 4-15 : Micrographies optiques en réflexion – Andésites alcalines type 2 (Unité 5B).....	97
Figure 4-16 : Protocole de caractérisation géoenvironnementale - phase de mise en valeur.....	108
Figure 4-17 : Diagrammes RPN_{Acisol} vs S_{total} des unités lithologiques	122
Figure 4-18 : Protocole de caractérisation géoenvironnementale - phase préfaisabilité.....	126
Figure 4-19 : Analyses des lixiviat (Ca) des échantillons en mini cellules d'altération	140
Figure 4-20 : Analyses des lixiviat (Mn) des échantillons en mini cellules d'altération	141
Figure 4-21 : Analyses des lixiviat (Cu) des échantillons en mini cellules d'altération.....	142

Figure 4-22 : Analyses des lixiviat (S_{total}) des échantillons en mini cellules d'altération.....	143
Figure 4-23 : Droites d'oxydo-neutralisation.....	150
Figure 4-24 : Résultats des essais d'extraction séquentielle. Basaltes andésitiques	154
Figure 4-25 : Résultats des essais d'extraction séquentielle. Dacite (unité 5A)	155
Figure 4-26 : Protocole de caractérisation géoenvironnementale – phase faisabilité	159
Figure 4-27 : Représentation schématique des données d'une cellule géoenvironnementale	179
Figure 4-28 : Distribution des sondages 1986 – 2016 Projet Akasaba ouest.....	181
Figure 4-29 : Distribution des sondages	182
Figure 4-30 : Échantillons domaine mafique et intermédiaire	182
Figure 4-31 : Échantillons domaine dacitique minéral	183
Figure 4-32 : Distributions de pyrite < 1%.	184
Figure 4-33 : Distribution de pyrite >2%.....	185
Figure 4-34 : Distribution des sulfures de type disséminé	185
Figure 4-35 : Distribution des échantillons avec $S_{tot} < 0,3\%$	188
Figure 4-36 : Distribution des échantillons avec $S_{tot} > 0,3\%$	188
Figure 4-37 : Distribution des valeurs $PNN_{carb} > 20$ et $PNN_{carb} < -20$	189
Figure 4-38 : Distribution des valeurs $RPN_{carb} > 3$ et $RPN_{carb} < 1$	189
Figure 4-39 : Distribution des valeurs $PNN_{Acisol} > 20$ et $PNN_{Acisol} < -20$	190
Figure 4-40 : Distribution des valeurs $RPN_{Acisol} > 3$ et $RPN_{Acisol} < 1$	190
Figure 4-41 : Distribution des valeurs en calcite normatives > 3%	191
Figure 4-42 : Distribution des concentrations en Mn (ppm).....	191
Figure D-1 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 1.....	32222
Figure D-2 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 2.....	32424
Figure D-3 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 3.....	32626

Figure D-4 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 4A Dacite et tufs dacitiques type 1	32828
Figure D-5 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 4A Intrusions dacitiques et QFP	33030
Figure D-6 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 4B	33232
Figure D-7 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 5A	33434
Figure D-8 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 5A Intrusions Dacitiques	33636
Figure D-9 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 5B	33838
Figure G-1 : Analyses des lixiviat (Si) des échantillons en mini cellules d'altération	40808
Figure G-2 : Analyses des lixiviat (Al) des échantillons en mini cellules d'altération.....	40909
Figure G-3 : Analyses des lixiviat (Na) des échantillons en mini cellules d'altération	41010
Figure G-4 : Analyses des lixiviat (K) des échantillons en mini cellules d'altération.....	41111
Figure G-5 : Analyses des lixiviat (Mg) des échantillons en mini cellules d'altération	41212
Figure H-1 : Épuisement du Stot et du Ca pour les basaltes andésitiques, unité 1.	41313
Figure H-2. : Épuisement du Stot et du Ca (unité 4A).....	41414
Figure H-3. Épuisement du Stot et du Ca unité 4B et unité 5A	41515

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

2D	Bidimensionnel
3D	Tridimensionnel
AI	Alteration index, indice d'altération
ARDI	Acid Rock Drainage index (indice de drainage acide des roches)
BAB	Bilan Acide-Base
$C_{\text{total}} ; C_{\text{tot}}$	Carbone total
$C_{\text{(carbonate)}}$	Carbone carbonate
CA	Certificat d'autorisation
CCPI	Chlorite-Carbonate-Pyrite Index
D_{50}	Diamètre des grains correspondant à 50% passant sur la courbe granulométrique
DMA	Drainage minier acide
DRX	Diffraction des rayons X
EDS	Energy-dispersive spectrometer (spectromètre à énergie dispersive)
EEIE	Évaluation et examen des impacts sur l'environnement
Eh	Potentiel d'oxydo-réduction
ICP-AES	Induce coupled plasma atomic emission spectrometry
ICP-MS	Induce coupled plasma mass spectrometry
IRME	Institut de Recherche en Mines et Environnement
LA-ICP-MS	Laser Ablation Induce couple plasma mass spectrometer
LD	Limite de détection analytique
LQ	Limite de quantification analytique
M	Molaire

MDDELCC	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MEB	Microscope électronique à Balayage
MLA	Mineral Liberation Analyzer
Mm ³	Million de mètres cubes
MO	Microscopie optique
Mt	Million de tonnes
N	Normalité
Nag _{pH}	Net Acid Generation pH
PA	Potentiel d'acidification
PGA	Potentiel de génération acide
pH	Potentiel hydrogène
PN	Potentiel de neutralisation
PN _{Carb}	Potentiel de neutralisation associée aux carbonates
PN _{Acisol}	Potentiel de neutralisation associée à l'essai Acisol
PNN	Potentiel net de neutralisation
PNN _{Acisol}	Potentiel net de neutralisation associé à l'essai Acisol
ppm	Partie par million
py	Pyrite
RPN	Rapport du potentiel de neutralisation
RPN _{Carb}	Rapport du potentiel de neutralisation associé aux carbonates
RPN _{Acisol}	Rapport du potentiel de neutralisation associé à l'essai Acisol
QEMSCAN	Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning electron microscopy
QAQC	Qualité d'acquisition et contrôle de qualité
QFP	Quartz-feldspar porphyry

RESIE	Résurgence dans les eaux de surface et d'infiltration dans les égouts
S_{sulfate}	Concentration en soufre des sulfates
S_{sulfure}	Concentration en soufre des sulfures
S_{total} ; S_{tot}	Concentration en soufre total
SIG	Système d'information géographique
Sigéom	Système d'information géominière
SPLP	Synthetic Precipitation Leaching Procedure
TCLP	Toxicity Characteristic Leaching Procedures
URSTM	Unité de recherche et de services en technologie minérale

LISTE DES ANNEXES

Annexe A - Résultats des analyses lithogéochimiques	219
Annexe B - Analyses des métaux à risque	267
Annexe C - Résultats des essais statiques chimiques.....	279
Annexe D - Analyses des minéraux normatifs.....	286
Annexe E - Calculs des paramètres et PN (Lawrence et Schseke)	340
Annexe F - Analyses des essais cinétiques en mini cellules d'altération.....	364
Annexe G - Diagrammes Si, Al, Na, K et Mg des essais cinétiques.....	408
Annexe H - Diagrammes des droites d'épuisement	413
Annexe I - Résultats des analyses des essais séquentielles	416
Annexe J - Chimie minérale.....	420

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

1.1 Problématique de caractérisation et de gestion environnementale des stériles miniers

L'industrie minière et particulièrement les exploitations sous forme de fosses à ciel ouvert produit de grandes quantités de stériles minières (Ritcey, 1989; Aubertin, Bussière et Bernier, 2002; Bye, 2011). Ces roches stériles possèdent un potentiel économique très restreint et peuvent représenter une importante problématique environnementale, car elles sont susceptibles de contenir une certaine proportion de métaux non économiques potentiellement néfastes pour l'écosystème.

Les opérations de dynamitage des lithologies hôtes d'un gisement peuvent produire plusieurs centaines de millions de mètres cubes de roches stériles dont la granulométrie varie de fines particules à des blocs de taille métrique dans le cas des mines à ciel ouvert (Aubertin *et al.*, 2002). Pour un grand nombre de projets, ces stériles sont généralement entreposés sans aucune ségrégation lithologique dans des haldes situées en surface. Ce mode d'entreposage aléatoire peut représenter un certain risque environnemental à moyen et/ou long terme. L'eau et l'air circulant entre les fragments et les fines particules de stériles favorisent le déclenchement de nombreuses réactions géochimiques dont l'oxydation des minéraux sulfurés. Selon les propriétés minéralogiques et géochimiques des lithologies composant les stériles, les réactions d'oxydation pourront produire un drainage minier acide ($\text{pH} < 6$) favorisant la dissolution de certains métaux, dont le cuivre (chalcopyrite), le fer (pyrite et pyrrhotite), le plomb (galène) et le manganèse (Kleinman, Crerar et Pacelli, 1981; Morin et Hutt, 1997; Seal et Hammarstrom, 2003; Bussière *et al.*, 2005 et Weisener et Weiber, 2010). Si la proportion de certains minéraux acidivores (ex. carbonates) présents dans les stériles est suffisante pour neutraliser l'acidité générée par les minéraux sulfurés, il est possible de produire un drainage neutre ($6 < \text{pH} < 9-10$). Cependant, si certains métaux ont été solubilisés au stade de l'oxydation des sulfures et de la génération de l'acidité, ces métaux peuvent ne pas avoir précipité et être toujours être présent dans les eaux de drainage neutres (Plante, Benzaazoua et Bussière, 2011). On parlera alors de drainage neutre contaminé. De plus, certains métaux, dont le zinc (sphalérite), le nickel et le cobalt (pentlandite) ainsi que l'arsenic (arsénopyrite) peuvent également être solubilisés dans des eaux de pH circum-neutre, et ce, sans qu'il n'y ait eu de génération préalable de lixiviat acide (Bussière *et al.*, 2005; Plante, Bussière et Benzaazoua, 2014).

Dans l'un ou l'autre de ces types de drainage et en considérant que le mode d'entreposage actuellement utilisé des stériles est généralement sans ségrégation des lithologies, la ou les lithologies à risques pourraient agir comme sources d'émission ponctuelles et multiples de lixiviats acides ou neutre accompagné de métaux potentiellement néfastes pour l'environnement. Dans un tel cas, il sera difficile d'identifier la lithologie agissant comme source d'émission d'acide et/ou de contaminants. Il sera également quasi impossible d'extraire de la halde cette lithologie source afin de pouvoir ultérieurement l'isoler individuellement dans une seconde halde pour en assurer sa gestion. La caractérisation minéralogique et géochimique des stériles miniers devient donc essentielle pour évaluer et prédire leur potentiel de contamination à moyen et long terme.

La restauration de ces sites d'entreposage de rejets miniers à la fermeture d'une mine représente un réel défi environnemental. La réglementation québécoise exige des entreprises minières de réaliser une caractérisation des rejets miniers afin de réduire les risques associés à la gestion des résidus miniers et de prévenir toute forme de contamination qui pourrait provenir du site une fois les opérations terminées (Québec MDDEP, 2012). Cette caractérisation n'est généralement basée que sur des résultats d'analyses et de calculs géochimiques de métaux et de concentrations en carbone et soufre, de résultats d'essais statiques et de tests de lixiviation de courte durée menés en laboratoire. Des essais cinétiques peuvent être exigés par les agences gouvernementales pour confirmer ou infirmer les risques estimés des essais statiques ou de lixiviation. Dans bien des cas, la sélection des échantillons ainsi que la caractérisation environnementale réalisée par les entreprises ne suivent pas nécessairement un protocole préétabli basé sur une étude exhaustive des paramètres géochimiques et minéralogiques des unités lithologiques.

Devant l'évaluation des paramètres mentionnés précédemment, nous sommes en droit de nous demander si la caractérisation actuellement exigée et réalisée peut être considérée exhaustive et fiable pour l'évaluation des risques environnementaux des stériles miniers. En fait, l'ajout de paramètres complémentaires pourrait être considéré pour raffiner et bonifier la caractérisation environnementale. Des paramètres basés sur les caractéristiques minéralogiques (chimie, texture, composition) et géochimiques des lithologies de stériles ainsi que sur des résultats d'essais cinétiques pourraient nous aider à préciser les risques et à améliorer la fiabilité de nos interprétations. De plus, l'intégration de l'ensemble de ces paramètres minéralogiques et géochimiques conduirait à définir des domaines nommés géoenvironnementaux qui serviraient de base à l'élaboration d'une représentation spatiale (3D) d'un modèle géoenvironnemental.

L'élaboration de ce modèle serait utilisée pour ségréguer les différents lithologies ou domaines géoenvironnementaux selon leur degré de risque. Cette discrimination du risque, si elle est réalisée avant le début des opérations, pourrait être couplée au modèle géologique d'exploitation et ainsi faciliter la gestion des stériles et réduirait les coûts de restauration.

1.2 Législation québécoise de caractérisation des rejets miniers

La Loi sur la qualité de l'environnement est la principale loi en matière d'environnement au Québec. Selon cette loi, tout projet d'exploitation minière doit obtenir une autorisation du Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MDDELCC) en vertu de l'article 22 :

22. Nul ne peut ériger ou modifier une construction, entreprendre l'exploitation d'une industrie quelconque, l'exercice d'une activité ou l'utilisation d'un procédé industriel, ni augmenter la production d'un bien ou d'un service s'il est susceptible d'en résulter une émission, un dépôt, un dégagement ou un rejet de contaminants dans l'environnement ou une modification de la qualité de l'environnement, à moins d'obtenir préalablement du ministre un certificat d'autorisation (Québec, MDDELCC, 2016).

Le Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement (chapitre Q-2, r. 23) exige de tout projet d'exploitation métallifère ou d'amiante, dont la capacité de production est de 2 000 tonnes métriques et plus par jour, soit assujéti à suivre la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement (EEIE). Les résultats obtenus de l'EEIE seront utilisés pour émettre un certificat d'autorisation qui est délivré par le gouvernement du Québec en vertu de l'article 31.5 de la Loi. Les exceptions concernent les mines d'uranium, de terres rares et de toute autre mine dont la capacité de production est de 500 tonnes métriques ou plus par jour (LégisQuébec, 2016).

1.2.1 La Directive 019

La Directive 019 du Ministère du Développement durable, Environnement et Parcs du Québec (Québec MDDEP, 2012) sur l'industrie minière est l'outil couramment utilisé pour l'analyse des projets miniers exigeant la délivrance d'un certificat d'autorisation en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement, ci-après appelée Loi. Elle est également utilisée pour les projets assujéti à la procédure d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement prévu aux articles 31.1 et

suivants de la Loi et pour les projets situés sur le territoire de la Convention de la Baie James et du Nord québécois.

La Directive 019 vise les objectifs suivants :

- a) Présenter les balises environnementales retenues et les exigences de base requises pour les différents types d'activités minières, de façon à prévenir la détérioration de l'environnement;
- b) Fournir aux intervenants du secteur minier les renseignements nécessaires à l'élaboration de l'étude d'impact environnemental préalable à une demande de certificat d'autorisation pour un nouveau projet ou à une demande de certificat d'autorisation pour la modification d'un projet existant.

1.2.2 Caractérisations demandées par la Directive 019

La Directive 019 exige qu'une caractérisation exhaustive du minerai, du concentré et des résidus miniers soit réalisée à l'étape d'avant-projet ou pendant l'exploitation du gisement. Cette caractérisation a pour objectif de réduire les risques associés à la gestion des résidus miniers qui sont définis comme suit :

Toute substance solide ou liquide, à l'exception de l'effluent final, rejetée par l'extraction, la préparation, l'enrichissement et la séparation d'un minerai, y compris les boues et les poussières résultantes du traitement ou de l'épuration des eaux usées minières ou des émissions atmosphériques (Québec MDDEP, 2012, p. 93)

Les stériles sont des lithologies encaissantes du gisement dont la teneur en métaux est considérée non économique au moment de l'exploitation. Tout comme les rejets du concentrateur, les stériles sont susceptibles de générer du drainage minier acide ou neutre contaminé. Dans la suite du texte, nous utiliserons le terme résidu minier qui englobe les rejets du concentrateur et les stériles.

Parmi les principales caractéristiques à évaluer pour la gestion éventuelle des résidus miniers mentionnons : a) l'évaluation du risque associé à la concentration résiduelle en métaux dans les résidus ou la concentration naturelle dans les stériles, b) le potentiel de lixiviation et c) le potentiel acidogène des résidus. Pour répondre aux exigences de la Directive 019, une première étude de caractérisation géochimique du minerai, des résidus et des stériles a été complétée en 2015 pour le

gisement Akasaba Ouest (Golder, 2015). Les résultats présentés dans cette étude nous serviront de point de départ et de référence pour les travaux qui seront réalisés dans ce projet de recherche.

1.3 Contexte géologique du projet Akasaba Ouest

Le projet minier choisi pour ce mémoire de recherche est celui du gisement Akasaba Ouest appartenant à Mines Agnico Eagle Ltée. Le gisement Akasaba Ouest est localisé à 15 km à l'est de la ville de Val-d'Or en Abitibi, Québec. L'assemblage lithologique reconnu sur la propriété se compose principalement de volcanites et de volcanoclastites de la Formation d'Héva du Groupe de Louvicourt (Figure 1-1). Les volcanites de la Formation d'Héva comprennent des basaltes, des dacites ferrifères et des roches à porphyres de quartz et feldspath. Ces volcanites sont recoupées par des dykes et des sills de composition mafique (gabbro) à intermédiaire. Des tufs felsiques contenant des sulfures sont également observés en plusieurs endroits. Toutes ces roches ont été métamorphosées au grade des schistes verts inférieur qui se caractérise par les phases minéralogiques suivantes : quartz – séricite – albite - chlorite-carbonate - actinolite \pm chloritoïde (Scott, Mueller et Pilotte, 2002; WSP Canada, 2015).

Le gisement Akasaba Ouest est caractérisé par une minéralisation de type aurifère et cuprifère se présentant principalement sous forme de sulfures disséminés composés de pyrite, chalcopryrite et de bornite. Le gisement Akasaba Ouest sera exploité sous forme d'une fosse à ciel ouvert de 2018 à 2021. Selon le scénario d'exploitation retenu, Mines Agnico Eagle Ltée prévoit extraire 5,12 Mt de minerai à des teneurs de 0,87 g/t Au et 0,49% Cu (Mines Agnico Eagle Ltée, communication personnelle, 20 février 2018) ainsi que 7,62 Mt de stériles pour un volume de roche excavé de 5,53 Mm³ à un taux d'extraction maximum de 3,65 Mt par année (Québec BAPE, 2017). Les principales roches encaissantes de la minéralisation sont des volcanites, des volcanoclastites et une intrusion de composition dacitique ainsi que des basaltes andésitiques fortement altérés et déformés. Selon la nomenclature qui sera utilisée dans ce mémoire et qui est présentée à la section 4.1.1.1, les lithologies qui composeront les stériles comprennent des basaltes andésitiques (unité 1) et ferrotitanifères (unité 2), des andésites (unité 3) et des andésites alcalines des unités 4B et 5B. Les stériles seront entreposés dans deux halles distinctes dont l'une contenant des stériles potentiellement générateurs d'acide et l'autre contenant des stériles non générateurs (Golder, 2015). Le protocole utilisé pour la réalisation de l'étude de caractérisation géochimique du minerai,

des roches stériles et des résidus du gisement Akasaba Ouest est basé uniquement sur la réalisation d'analyses géochimiques de roches et de lixiviats ainsi que d'essais statiques de courte durée.

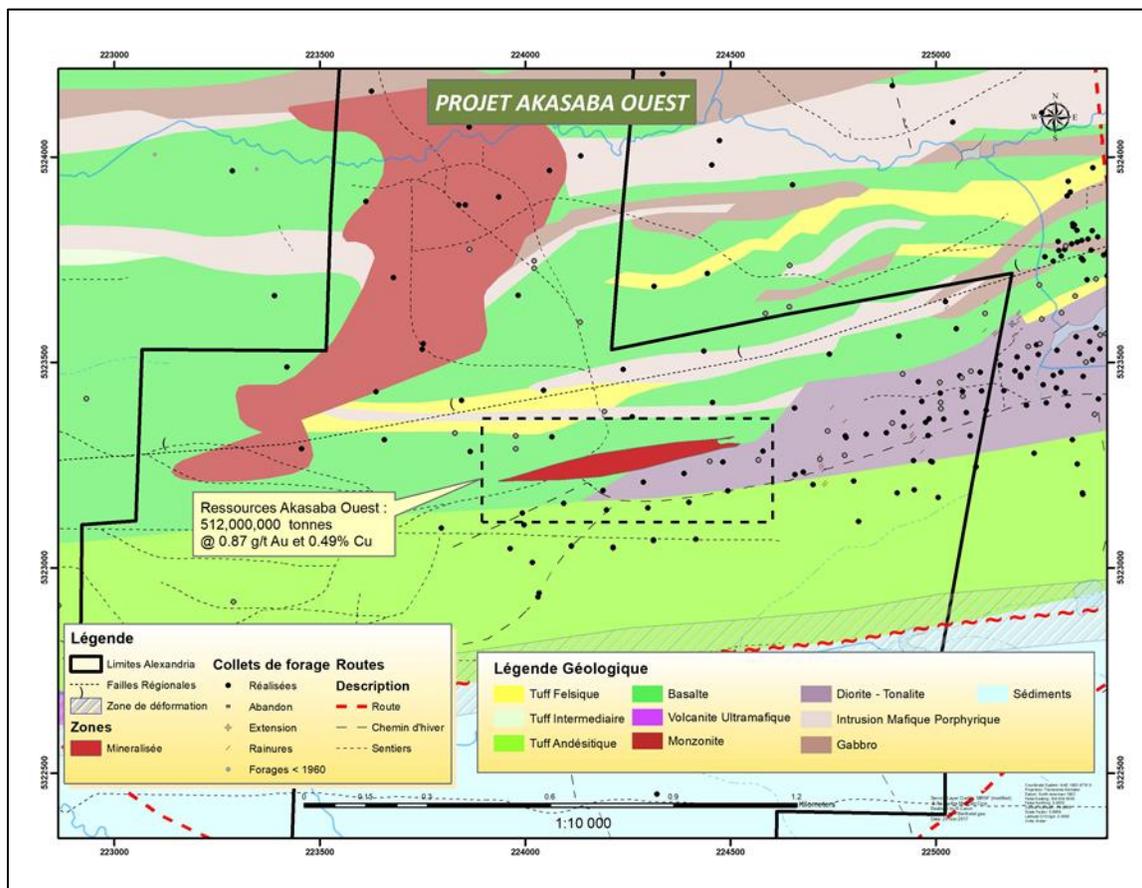


Figure 1-1. Géologie régionale du secteur Akasaba Ouest

Ces analyses et essais permettront d'obtenir des résultats qui mèneront à une évaluation environnementale du gisement telle qu'exigée par la Directive 019. Bien que les analyses et les essais réalisés permettent de satisfaire aux exigences de la Directive, elles ne sont pas suffisamment exhaustives pour permettre l'identification des sources et des causes de certaines problématiques environnementales qui pourraient survenir à long terme une fois les stériles entreposés dans les haldes. Il devient essentiel d'établir un protocole plus systématique d'évaluation dont les objectifs seront non seulement de minimiser, mais également de réaliser une gestion optimale des risques environnementaux associés aux rejets miniers.

1.4 Objectifs du projet

L'objectif principal du projet de recherche consiste à développer un nouveau protocole de caractérisation des stériles miniers. Ce nouveau protocole nommé « protocole de caractérisation géoenvironnementale » comprendra quatre étapes successives de compilation et d'acquisition de données de types minéralogiques et géochimiques. Chacune de ces étapes sera réalisée à une phase spécifique de développement d'un projet minier allant de la phase d'exploration à celle de l'étude de faisabilité de la mine. Le protocole de caractérisation géoenvironnementale sera développé pour élaborer des prédictions de risques de contamination en métaux et de génération de drainage minier acide ou neutre contaminé issus de l'extraction et de l'entreposage en surface des stériles d'un gisement. Cette approche requiert l'acquisition de données provenant de plusieurs disciplines de la géologie, dont la pétrographie, la minéralogie et la géochimie. Ces disciplines sont également utilisées dans le cadre d'études géométallurgiques.

Notre principale hypothèse de recherche consistera à confirmer ou infirmer que les principaux concepts géochimiques et minéralogiques utilisés pour des études géométallurgiques peuvent être appliqués à des études de caractérisation environnementale et à la création d'un modèle géoenvironnemental 3D de gestion des stériles miniers (Lotter, 2011). Cette caractérisation permettra d'obtenir une meilleure représentation spatiale sous la forme d'unités géoenvironnementales selon leurs potentiels d'acidification, de neutralisation et de lixiviation de métaux (Bye, 2011).

Cette planification réalisée au stade précoce ou en amont d'un projet minier n'est pas une pratique courante dans l'industrie minière d'aujourd'hui. L'utilisation du modèle géoenvironnemental permettra de mieux planifier l'extraction et la gestion des stériles pour ensuite faciliter la restauration du site lors de la fermeture ou, dans certains cas, leurs réutilisations. La connaissance des problèmes environnementaux dans les premières étapes d'un projet pourra rapidement favoriser l'atténuation des impacts environnementaux et favoriser l'acceptabilité sociale d'un projet.

Ce protocole aura également pour but de réduire progressivement, d'une étape à l'autre, le nombre d'échantillons nécessaires à la caractérisation et la définition des unités géoenvironnementales. La réduction progressive du nombre d'échantillons nécessaire aux travaux et aux analyses permettra

à l'entreprise de réduire considérablement ses coûts d'évaluation environnementale à chaque phase d'un projet minier.

Les objectifs spécifiques du projet sont:

- Identifier et caractériser les différentes unités lithologiques des stériles miniers à partir des résultats des observations pétrographiques et des analyses géochimiques;
- Caractériser les différents faciès d'altération hydrothermale et d'identifier les phases minérales primaires et secondaires susceptibles d'être génératrices d'acide ainsi que celles qui seront susceptibles de neutraliser cette acidité;
- Identifier les métaux qui seront susceptibles de présenter un risque environnemental;
- Intégrer l'ensemble des résultats obtenus des travaux de pétrographie, de géochimie et de minéralogie dans un modèle géoenvironnemental à l'aide d'un logiciel de modélisation 3D. Le modèle permettra d'identifier les niveaux de risques de contamination environnementale des stériles miniers.
- Vérifier la validité et l'applicabilité du protocole de caractérisation géoenvironnemental sur les données et échantillons du projet minier Akasaba Ouest.

1.5 Structure du document

Comme le mémoire avait comme principal objectif de développer un protocole de caractérisation géoenvironnementale, le document présenté n'est pas subdivisé selon la structure traditionnelle d'un mémoire de maîtrise. Ainsi pour chacune des méthodes, types d'analyses et essais qui sont proposés par le protocole, nous avons préférentiellement choisi de présenter et de détailler ces dernières dans les sections respectives des différentes étapes d'un projet minier du chapitre 4.

La structure du document présente une revue de la littérature au chapitre 2 sur les grandes thématiques abordées dans le mémoire. On y présente les caractéristiques des modèles géoenvironnementaux, l'approche géométagurgique qui servira de référence pour l'élaboration du protocole de caractérisation géoenvironnementale les possibilités et les défis d'application en environnement minier ainsi que les modèles de représentation spatiale 3D.

Le chapitre 3 décrit les nombreuses méthodes analytiques et appareils analytiques utilisés pour la réalisation de ce travail de recherche. Ces méthodes concernent celles utilisées pour la préparation

des échantillons destinés aux travaux de minéralogie, d'analyses géochimiques et d'essais statiques et cinétiques.

Le chapitre 4 est la partie principale du mémoire et présenter un protocole concernant les différents travaux proposés à chacune des phases de développement d'un projet minier pour réaliser une étude de caractérisation géoenvironnementale de même que son application au projet minier Akasaba Ouest. Nous discuterons également des avantages et des limites de l'utilisation du protocole de caractérisation géoenvironnemental.

Le chapitre 5 présente les principales conclusions du développement et de l'utilisation du protocole géoenvironnemental ainsi que de son apport pour le projet minier Akasaba Ouest ainsi que les perspectives concernant l'évaluation du risque et la gestion des stériles miniers.

CHAPITRE 2 MODÈLES GÉOENVIRONNEMENTAUX, GÉOMÉTALLURGIE ET MODÉLISATION 3D - REVUE DE LITTÉRATURE

Les données minéralogiques et géochimiques recueillies lors des travaux réalisés aux diverses phases de développement d'un projet minier peuvent être combinées à des résultats d'essais statiques et cinétiques pour réaliser une caractérisation environnementale exhaustive d'un gisement. De plus, il sera pertinent d'utiliser les résultats obtenus de cette caractérisation comme point de départ pour développer un modèle géoenvironnemental selon une approche et un protocole qui seront similaires à ceux utilisés pour les études de géométaballurgie. La première partie de ce chapitre présente une brève description du concept de modèle géoenvironnemental ainsi que les principaux paramètres qui peuvent être analysés pour la construction de ce dernier. L'ensemble de ces paramètres servira de canevas à la caractérisation géoenvironnementale. La seconde partie porte sur la présentation du concept de géométaballurgie dont les principes et méthodologies utilisés dans ce domaine serviront de références pour développer un protocole de caractérisation environnementale qui sera présenté dans les chapitres 3 et 4. La troisième partie du chapitre porte sur la méthodologie qui sera utilisée pour la représentation spatiale 3D des résultats de la caractérisation géoenvironnementale.

2.1 Caractéristiques des modèles géoenvironnementaux

Le concept de modèles géoenvironnementaux a été initié avec les travaux de Plumlee et Nash (1995). Ce concept a comme principe fondamental que les différentes caractéristiques minéralogiques et géochimiques du minerai, de la gangue et des roches encaissantes d'un gisement vont exercer une influence et un contrôle importants sur les conditions environnementales qui existeront dans l'écosystème local. Selon Seal et Hammarstrom (2003), ce type de modèle est plutôt de nature descriptive et résulte d'une compilation des caractéristiques géologiques, métallurgiques et minières propres à certaines typologies de dépôts métallifères (ex. les gisements de sulfures massifs volcanogènes, de cuivre porphyrique, etc.). Un des avantages de ces modèles généraux est qu'ils peuvent être utilisés par les entreprises minières comme ligne directrice pour évaluer les impacts environnementaux susceptibles d'être créés pendant et après l'exploitation d'un gisement. Les résultats obtenus de cette compilation permettent de connaître les spectres des signatures et des

risques environnementaux possibles pour un type spécifique de gisement (Seal et Hammarstrom, 2003). Parmi les nombreux paramètres et caractéristiques compilés, mentionnons:

- a) La minéralogie primaire et secondaire du minerai, de la gangue et des roches encaissantes d'un type de gisement ainsi que les signatures géochimiques du minerai et des différentes lithologies;
- b) Les résultats généraux des calculs du potentiel de génération d'acide (PGA) et du potentiel de neutralisation (PN) selon la typologie d'un gisement;
- c) Les différents contrôles géologiques sur la perméabilité des roches et les principaux facteurs hydrauliques;
- d) La chimie des sols, des sédiments, des eaux souterraines et des eaux de surface en aval ainsi qu'en amont d'un gisement non exploité;
- e) Les éléments chimiques (métaux, composés organiques) mobilisés et transportés dans l'environnement (eau souterraine, eau de surface, sédiments de ruisseau);
- f) Le type d'exploitation utilisé pour chaque type de gisements et les volumes caractéristiques des empilements de stériles, les dimensions des parcs à résidus miniers;
- g) La composition des émissions atmosphériques des fonderies;
- h) Les impacts reconnus des gisements selon leurs types sur les écosystèmes.

Les résultats obtenus d'une compilation des paramètres mentionnés précédemment sont très généraux et globaux et ne peuvent remplacer les données obtenues d'études minéralogiques et géochimiques ainsi que celles provenant d'essais menés en laboratoire et sur le terrain (Seal et Hammarstrom, 2003). Selon leur concept général, les modèles géoenvironnementaux ne peuvent ainsi être utilisés pour prédire adéquatement la qualité et la composition des eaux de drainage minier (pH, métaux lixiviés, matières en suspension) ainsi que les divers types risques environnementaux associés à l'exploitation d'un gisement situé dans un espace physiographique bien localisé. Pour évaluer adéquatement les caractéristiques physico-chimiques des eaux de drainage et les risques qui leurs seront associés, nous devons utiliser une approche qui permettra d'obtenir des données exhaustives et détaillées de paramètres environnementaux issus des caractéristiques minéralogiques et géochimiques d'un gisement.

2.2 L'approche géométallurgique

Depuis quelques années au Québec, l'importante chute des prix des métaux a conduit plusieurs entreprises minières à rechercher de nouvelles approches qui permettront d'optimiser les profits et de réduire les risques opérationnels et financiers associés à l'exploitation d'un gisement. Dans cette optique, les sociétés minières commencent à se tourner vers l'utilisation de la géométallurgie (Moore, 2014). Le concept de géométallurgie n'est pas nouveau en soi. À la fin du 19^{ème} siècle, plusieurs grandes sociétés minières reconnaissaient que l'utilisation d'une approche géométallurgique permettait d'optimiser les résultats obtenus des procédés de traitement du minerai (Lotter, 2011).

Une synthèse des nombreuses définitions présentées dans la littérature indique que la géométallurgie comprendrait un amalgame des connaissances attribuées à la métallogénie et aux processus de traitement du minerai (Lotter, 2011). La géométallurgie s'appuie sur le concept que les caractéristiques minéralogiques et géochimiques du minerai vont conditionner sa réponse métallurgique lors des processus de traitement et d'extraction des métaux (Delago-Vega, 2012; Brough *et al.*, 2013). La géométallurgie a donc pour objectif de définir et de caractériser les différentes variables géologiques, minéralogiques et géochimiques qui existent au sein d'une enveloppe minéralisée et de ses épontes (Quantitative Group, 2011; Baumgartner, 2012; GeoMet, 2015; SGS, 2016). Cette caractérisation permet d'obtenir une meilleure compréhension des réactions chimiques des minéraux composant le minerai et de classer leur comportement selon le type de procédé de traitement métallurgique qui sera utilisé, et ce, avant même d'acheminer le minerai à l'usine de traitement (Delago Vega, 2012; Moore, 2014).

Du point de vue opérationnel et économique, l'intégration de la géométallurgie dans le cadre d'un projet d'exploitation permet de maximiser la valeur économique d'un gisement et de minimiser les risques techniques et opérationnels dus à de meilleures connaissances des propriétés géologiques (Lund et Lambert, 2014; SGS, 2018). Un autre bénéfice de l'utilisation de la géométallurgie est qu'elle favorise l'identification des problèmes potentiels liés au minerai et à son traitement, et ce, bien avant son exploitation. L'identification de ces problèmes permet à l'entreprise de rechercher des pistes de solutions par l'entremise de projets de recherche axés sur la résolution des problématiques métallurgiques associées au gisement. Les bénéfices économiques obtenus seront d'autant plus importants que la recherche de solutions sera initiée à l'étape de l'exploration et de

la cartographie ainsi qu'au stade de pré faisabilité d'un projet minier (Delago Vega, 2012; Lund et Lambert, 2014).

2.2.1 Principes d'application d'un programme de géométagurgie

La conception et la mise en application de procédés de traitement métallurgique en se basant exclusivement sur des résultats d'analyses chimiques du minerai peuvent conduire à une certaine vulnérabilité concernant leur efficacité. Une approche de plus en plus utilisée pour améliorer la récupération métallurgique est de considérer les interactions entre les différentes phases minéralogiques composant le minerai (Delago-Vega, 2012). Les études minéralogiques réalisées en géométagurgie s'intéressent particulièrement aux propriétés des minéraux (morphologie, texture, dureté, etc.) ainsi qu'aux relations spatiales entre les minéraux de la gangue et ceux composant le minerai. Ces paramètres auront un impact significatif sur la maille de libération à atteindre ainsi que sur le taux de récupération des métaux. Ces études ont également pour objectifs d'identifier les principaux minéraux qui contiendront non seulement les métaux d'intérêts économiques, mais également d'autres éléments chimiques délétères qui seront présents lors du traitement métallurgique. Dans ces deux cas, on s'intéressera particulièrement aux concentrations et à la distribution de ces métaux ou autres éléments chimiques au sein des minéraux d'intérêt économique ou subéconomique. Les résultats obtenus permettent aux entreprises de mieux comprendre les variations de teneurs du concentré de minerai et les différents taux de récupération métallurgiques des métaux obtenus à l'usine (Delago-Vega, 2012).

Les travaux de géométagurgie nécessitent l'utilisation de techniques analytiques axées sur l'acquisition des informations minéralogiques. Parmi les principales techniques utilisées, mentionnons :

- a) Les techniques d'analyse minéralogique qui sont automatisées. Parmi celles-ci, l'utilisation de la méthode de Rietveld combiné aux analyses d'échantillons par diffraction des rayons X (Monecke *et al.*, 2001) qui permet d'obtenir la composition et la quantification minéralogique modale d'un échantillon. L'utilisation du MEB favorise grandement l'étude des caractéristiques microtexturales des différents minéraux, dont les propriétés physiques de surface (ex. porosité, fracturation), la présence d'inclusions et d'intercroissances de plusieurs minéraux ainsi que l'altération hydrothermale (Parbhakar-Fox, Lottermoser et Bradshaw, 2013a). De plus, le MEB procure l'identification des minéraux et permet d'obtenir des

informations sur la composition et la distribution des éléments chimiques dans les minéraux (Lotter, 2011). D'autres techniques développées récemment, dont le QEMSCAN® (Quantitative Evaluation of Minerals by Scanning), le MLA® (Mineral Liberation Analyzer) permettent d'établir une cartographie minérale et d'obtenir une composition minéralogique modale d'un échantillon (Lotter, 2011). Ces techniques analysent également les variations de la dimension des différents minéraux, les relations spatiales entre les minéraux de la gangue et ceux d'intérêt économique ainsi que le potentiel de libération de ces derniers (Lamberg, 2011; Brough *et al.*, 2013; Dyanti *et al.*, 2013).

- b) La dureté des minéraux qui aidera à identifier les zones ou les lithologies qui seront plus résistantes aux processus de broyage et de concassage et donc à la libération des minéraux économiques (Parbhakar-Fox, Lottermoser et Bradshaw, 2013b);
- c) L'imagerie hyperspectrale qui donne des informations importantes sur l'identification, la distribution et la proportion de minéraux de types sulfures et/ou oxydes ainsi que les minéraux d'altération qui formeront la gangue (Parbhakar-Fox *et al.*, 2013b). L'imagerie hyperspectrale est utilisée sur des carottes de forages pour faire une cartographie des minéraux.
- d) La collecte automatisée de mesures pétrophysiques (densité, susceptibilité magnétique) sur les carottes de forage. Les résultats obtenus apportent des informations importantes sur la composition modale des minéraux et les différents types de textures du minerai (Lambert, 2011; Parbhakar-Fox, *et al.*, 2013b);

2.2.2 Protocole utilisé lors d'une étude géométrurgique

Lund et Lambert (2014) présentent les étapes générales d'un protocole utilisé pour réaliser une étude géométrurgique. Ces étapes sont les suivantes :

- a) L'acquisition d'information à partir de carottes de forages et comprenant les observations pétrographiques et minéralogiques, l'analyse des signatures géochimiques et des prises de mesures des paramètres pétrophysiques (densité, dureté) des différentes lithologies ainsi que du minerai. Des essais de mécanique des roches tels que l'indice de qualité du roc sont également recommandés à cette étape;
- b) Un programme d'échantillonnage du minerai pour réaliser des tests métallurgiques. Les localisations des échantillons à prélever pour ces tests seront établies sur la base des données

acquises à l'étape précédente. Les échantillons qui seront soumis à ces tests doivent être sélectionnés de façon à représenter toute la gamme de réponses métallurgiques susceptibles d'être observées dans le gisement. Les auteurs mentionnent cependant que le principal dilemme rencontré à cette étape tient du fait que la réponse métallurgique d'un échantillon ne peut être connue qu'après la réalisation des tests métallurgiques. Pour faire face à ce dilemme, deux approches différentes existent pour la sélection des échantillons :

- 1) La première approche est basée sur les résultats obtenus de tests géométrurgiques réalisés à petites échelles en laboratoire. Ces tests sont destinés à mesurer directement la réponse métallurgique d'un échantillon (ex. tests de fragmentation ou de flottation);
 - 2) La seconde approche est principalement axée sur l'étude des paramètres minéralogiques des échantillons tels que la composition modale, la texture, les associations ou les paragenèses minérales ainsi que sur les caractéristiques de libération des grains.
- c) Réalisation d'essais métallurgiques à mini-échelle en laboratoire afin d'identifier et de caractériser les différents paramètres métallurgiques qui seront utilisés pour la sélection d'un procédé d'extraction du minerai;
 - d) Vérification de la validité des paramètres métallurgiques selon le type de gisement qui sera exploité et les domaines géométrurgiques connus de la littérature. Si nécessaire, développer de nouveaux domaines géométrurgiques;
 - e) Élaboration de corrélations entre les principaux paramètres métallurgiques sur la base de relations graphiques et mathématiques;
 - f) Développement d'un modèle métallurgique 3D qui sera utilisé pour le procédé d'extraction du minerai. Le modèle utilisera les paramètres métallurgiques définis précédemment.

2.2.3 L'approche géométrurgique appliquée à l'environnement

Les demandes de plus en plus exigeantes en matière de caractérisation environnementale nécessiteront une meilleure compréhension des différentes composantes géologiques d'un gisement (Lund et Lambert, 2014). Comme le précise Parbhakar-Fox et *al.*, (2013a, b), la réalisation d'une caractérisation environnementale du minerai aux phases de préfaisabilité ou de faisabilité d'un projet minier est essentielle pour permettre de réduire les impacts

environnementaux après la phase de fermeture de la mine. Parmi les principales études requises pour cette caractérisation, mentionnons : a) une étude portant sur la possibilité qu'une ou plusieurs unités lithologiques encaissantes d'un gisement puissent générer un drainage acide et b) la cartographie des éléments chimiques délétères qui sont susceptibles d'être lixiviés de ces lithologies par le drainage minier acide et/ou à la suite de leur exposition en surface.

Dans l'objectif de créer des modèles de prédiction qui pourront être utilisés dans le cadre d'une exploitation d'un gisement, certains auteurs (Brough *et al.*, 2013; Dyanti et al., 2013; Parbhakar-Fox et al., 2013a, b) ont cherché à appliquer l'approche axée sur la connaissance des propriétés minéralogiques utilisée en géométallurgie à la prédiction de problèmes environnementaux. En regardant de près les définitions, principes et concepts mentionnés au début de ce chapitre, ceux-ci peuvent être adaptés à la caractérisation environnementale d'un gisement en plaçant l'emphase sur les principes suivants :

- a) Caractériser les différentes variables géologiques, pétrographiques, minéralogiques et géochimiques qui existent au sein d'une enveloppe minéralisée et de ses lithologies encaissantes;
- b) Obtenir une meilleure compréhension des réactions chimiques des minéraux des lithologies composant le minerai et les stériles et de les classer selon leur potentiel de génération de drainage minier stérile (c.-à-d. non acide et non contaminé), de drainage minier acide ou de drainage minier neutre contaminé et ce, avant même l'extraction du gisement;
- c) Considérer les propriétés des minéraux, dont la composition chimique, la morphologie, la texture, etc. ainsi que les relations spatiales entre le minerai et les minéraux de la gangue;
- d) Identifier les principaux minéraux qui contiendront non seulement des métaux d'intérêt économique ou délétère et potentiellement néfastes pour l'environnement, mais également les minéraux qui seront susceptibles de générer ou de neutraliser l'acide. Dans ces cas, on s'intéressera particulièrement aux concentrations et à la distribution des métaux ou autres éléments chimiques au sein des sulfures et des oxydes ainsi qu'aux types et à la chimie des minéraux neutralisants.

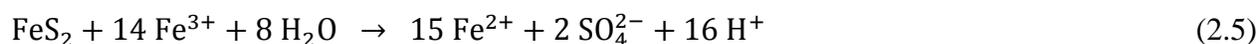
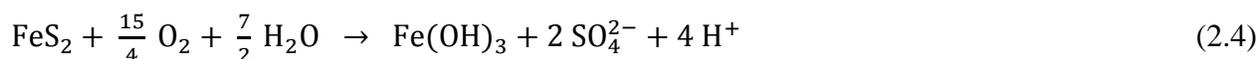
Dans le but de guider l'évaluation des risques environnementaux, certaines approches et schémas des procédés « flowsheet » ont également été développés en incluant ces paramètres (Brough *et al.*, 2013; Dyanti et al., 2013; Parbhakar-Fox et al., 2013a, b). Le schéma des procédés Brough *et*

al., (2013) suggère pour la phase 1 d'identifier des unités géologiques nommées « geo-waste unit » qui doivent être représentatives des différents types de résidus qui seront produits lors des opérations minières. La discrimination entre ces unités est effectuée sur la base de la nomenclature géologique des lithologies (ex. basalte, rhyolite etc.), les proportions de minéraux générateurs et/ou neutralisants d'acide ainsi que sur le degré d'altération et d'oxydation de chacune des lithologies. Aucune méthode ni approche n'est cependant proposée pour réaliser la discrimination entre certains paramètres dont ceux permettant d'établir l'identification lithologique et la caractérisation minéralogique des faciès d'altérations des différentes unités. À la suite à la caractérisation réalisée en phase 1 du protocole de Brough *et al.*, (2013), des échantillons de carottes de sondages représentatifs de chacune de ces unités sont prélevés pour effectuer des essais statiques à la phase 2. Suite à la réalisation de la phase 2, Le protocole suggère de conserver uniquement un certain nombre d'échantillons pour les essais cinétiques qui seront réalisés à la phase 3. Les échantillons sélectionnés seront ceux dont les résultats des essais statiques indiqueront qu'ils sont caractérisés par un comportement géochimique présentant un risque incertain à hautement probable de génération d'un drainage acide et/ou de lixiviation de métaux. Il faut ainsi présumer que les échantillons identifiés comme représentant un risque environnemental nul par les résultats des essais statiques ne seront pas soumis aux travaux de la phase 3. La phase 4 consiste à réaliser une modélisation numérique dont les résultats permettront d'élaborer des recommandations ayant pour objectifs l'atténuation des risques de drainage minier acide et de lixiviation des métaux.

L'approche proposée par Parbhakar-Fox *et al.*, (2011, 2013b) débute également aux phases de préfaisabilité ou de faisabilité d'un projet minier et comprend trois phases de caractérisation du risque environnemental. La séquence des travaux proposés pour chacune des phases a également comme objectif de réduire les coûts financiers d'évaluation du risque pour l'ensemble du protocole. Tout comme l'approche de Brought *et al.*, (2013), les travaux proposés à chacune des étapes requièrent la réalisation de caractérisations géochimiques et minéralogiques des échantillons d'un gisement. La première phase préconisée par Parbhakar-Fox *et al.*, (2011) consiste à former des groupes basés sur les textures « mesotextural group » en classant les différents échantillons selon un indice de drainage minier acide nommé ARDI. Cet indice est élaboré selon une approche semi-quantitative utilisant les relations géochimiques, minéralogiques ainsi que les relations texturales présentées dans chacun des échantillons. Les principaux critères utilisés pour les calculs de l'indice ARDI sont : a) le contenu en sulfures, b) l'altération des minéraux sulfurés (ex. degré d'oxydation),

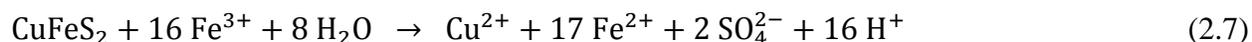
c) la morphologie ou la typologie des minéraux sulfurés (ex. disséminé, veine, massif), d) le contenu en minéraux neutralisant ainsi que e) les relations spatiales entre les minéraux sulfurés et les minéraux neutralisants. Les travaux proposés à la première étape consistent également à réaliser des essais statiques de types pH de pâte, des analyses minéralogiques en DRX ou avec un analyseur minéralogique par infrarouge portable (PIMA) ainsi que des analyses géochimiques. La seconde étape du protocole consiste à réaliser des essais statiques de type NAG_{pH}, NAG simple pour déterminer la génération nette d'acide (NAG), des essais de type Sobek ainsi que des analyses géochimiques pour déterminer les concentrations en métaux délétères et le contenu en soufre total (S_{total}). Les travaux exigés à la troisième étape comprennent des essais statiques de type NAG séquentiel et NAG cinétique. Cette phase inclus également des études minéralogiques de caractérisation texturales utilisant un microscope électronique à balayage et d'analyses de minéraux (MLA-SEM) ainsi qu'une caractérisation des concentrations en éléments traces dans les sulfures avec un spectromètre à plasma induit avec ablation au laser (LA-ICP-MS). Le protocole de Parbhakar-Fox *et al.*, (2011) n'exige pas la réalisation d'essais cinétiques, et ce, bien qu'il place principalement l'emphase sur les échantillons représentant un risque possible à certain de générer un DMA. Ainsi, les échantillons considérés à risque nul de génération acide selon l'indice ARDI ne sont pas soumis aux essais de l'étape 2 alors que ceux dont la teneur en S_{total} est < 0,3% ne sont pas soumis aux essais et travaux de l'étape 3.

Pour un gisement du type d'Akasaba Ouest, les principaux sulfures rencontrés sont généralement la pyrite et la chalcopirite. Les principales réactions d'oxydation chimique de la pyrite ont été décrites par de nombreux auteurs (Lowson, 1982; McKibben et Barnes, 1986; Holmes et Crundwell, 2000). Ces réactions sont présentées ci-après :



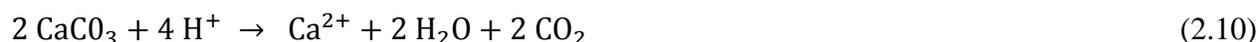
Les réactions 2.1, 2.2 et 2.3 se produisent lors du premier stage de développement du drainage minier acide alors que le pH est près de la neutralité. La réaction 2.4 représente la réaction résultante à ce stade. La réaction 2.1 caractérise l'oxydation directe de la pyrite et la libération de soufre sous forme de sulfate (SO_4^{2-}) et la production de fer ferreux (Fe^{2+}) qui sera oxydé en fer ferrique (Fe^{3+}) en présence d'oxygène selon la réaction 2.2. La réaction 2.3 indique que l'hydrolyse du Fe^{3+} produit des ferrihydroxydes et 3 moles d'ions H^+ . La réaction 2.4 indique que l'oxydation de pyrite en présence d'eau génèrera des ferrihydroxydes ($\text{Fe}(\text{OH})_3$) et de l'acide sulfurique (H_2SO_4) favorisant ainsi une diminution du pH des eaux de drainage. Les réactions impliquant la pyrite seront accélérées à un stade plus avancé du drainage minier acide (réaction 2.5) alors que la pyrite réagira avec le fer ferrique (Fe^{3+}) et l'eau pour produire du soufre sous forme sulfate ainsi que 16 moles d'ions hydrogène.

Les principales réactions chimiques concernant l'oxydation de la chalcopirite sont les suivantes (Seal et Hammarstrom, 2003) :



Les réactions 2.6 et 2.7 caractérisent l'oxydation de la chalcopirite en présence d'oxygène ou en présence de fer ferrique et d'eau. Ces réactions conduisent à la libération de cuivre, de fer ferreux (Fe^{2+}) et de soufre sulfate dans les eaux de surface. L'équation 2.7 est similaire à l'équation 2.5 décrite précédemment pour la pyrite et indique que la chalcopirite se dissout en présence de fer ferrique ainsi que d'eau pour libérer du cuivre, du fer, du soufre sulfate et des ions H^+ menant à l'acidification des eaux. Le fer ferrique peut être obtenu par la réaction 2.2 si la pyrite est en association avec la chalcopirite dans le minerai et les stériles.

La calcite est le minéral possédant la plus grande capacité de neutraliser l'acide généré par l'oxydation de la pyrite et/ou de la chalcopirite. En fait, la calcite un des taux de dissolution parmi les plus rapides et se dissout totalement (Paktunc, 1999c). Pour ce carbonate, les réactions de neutralisation sont les suivantes (Drever, 1988):



La réaction 2.8 se réalise dans des conditions de drainage caractérisé par un pH allant 6,4 à 10,3. Dans ce contexte, la calcite neutralise une mole d'acide pour libérer du calcium et du bicarbonate (HCO_3^-). Les réactions 2.9 et 2.10 concernent la neutralisation par la calcite du drainage minier à des pH inférieurs à 6,4. La réaction 2.9 produit du calcium et de l'acide carbonique alors que la réaction 2.10 donne comme produits de l'eau et du dioxyde de carbone (Seal et Hammarstrom, 2003). La vitesse de neutralisation d'un carbonate variera selon sa composition chimique. Les carbonates composés de calcium comme la calcite (CaCO_3) et de magnésium tel la dolomite ($\text{Ca, Mg (CO}_3)_2$) et la magnésite (MgCO_3) neutraliseront beaucoup plus rapidement l'acide que les carbonates contenant du fer dont l'ankérite et la sidérite (Price, 2009).

2.2.4 Approche géométallurgique versus caractérisation environnementale traditionnelle

Les différentes composantes de l'approche géométallurgique, en particulier les études de caractérisation minéralogique, peuvent être appliquées pour bonifier les résultats obtenus des études de caractérisation environnementale. Les principaux paramètres qui sont exigés par la Directive 019 pour classer le degré de risque, le potentiel de lixiviation et le potentiel acidogène d'un échantillon sont principalement déterminés selon des approches chimiques. Les résultats obtenus sont généralement présentés sous formes quantitatives soit en comparant des concentrations en métaux avec des critères gouvernementaux ou en calculant, au moyen d'équations mathématiques simples, des valeurs de potentiel d'acidification (PA), de potentiel de neutralisation (PN), de potentiel net de neutralisation (PNN) et du rapport de potentiel de neutralisation (RPN) (Price, Morin et Hutt, 1997; Amira, 2002; Price, 2009). Quelques travaux commencent à porter une attention particulière sur la composition minéralogique des échantillons pour expliquer et surtout appuyer ou questionner les résultats obtenus des essais statiques chimiques (Jambor *et al.*, 2007). De même, bien que l'approche semble intéressante, les essais statiques minéralogiques prenant en considération la minéralogie des échantillons sont actuellement peu documentés dans la littérature (Kwong, 1993; Lawrence et Scheske, 1997; Packtunc, 1999c).

Les résultats des essais cinétiques indiquent les compositions chimiques potentielles ainsi que les valeurs de certains paramètres physico-chimiques des lixiviats issus de l'écoulement de l'eau de surface au travers un empilement de roches (Price *et al.*, 1997). Encore une fois, les concentrations

en métaux lixiviés et les paramètres physico-chimiques devraient être systématiquement appuyés par des études minéralogiques. Ces études permettraient de mieux comprendre les diverses réactions chimiques de lixiviation, de génération ou de neutralisation d'acide et d'identifier la ou les sources des métaux lixiviés des résidus miniers. L'utilisation de la minéralogie pour confirmer ou infirmer les résultats obtenus d'essais statiques ou cinétiques permettrait d'obtenir une caractérisation beaucoup plus complète du risque environnemental des résidus miniers et permettrait d'établir un modèle géoenvironnemental d'un gisement. Tout comme un modèle géométallurgique, un modèle géoenvironnemental appliqué à un gisement identifierait des zones caractérisées selon leurs degrés de risques environnementaux, ce qui permettrait de planifier la gestion de ces rejets à l'étape de prédéveloppement d'un gisement.

2.2.5 Les défis de l'intégration de l'approche géométallurgique en environnement

Plusieurs défis se présentent concernant l'intégration de l'approche géométallurgique à l'environnement. Ces défis portent entre autres sur le nombre d'échantillons nécessaire à la réalisation d'une étude géoenvironnementale ainsi que sur les effets d'échelles.

2.2.5.1 Nombre et représentativité des échantillons pour une étude géoenvironnementale

Le premier défi concerne le nombre d'échantillons à sélectionner pour réaliser l'étude de caractérisation environnementale. Avec les coûts élevés des analyses géochimiques, minéralogiques ainsi que ceux des essais statiques et cinétiques, il sera important de considérer une approche de sélection qui permettra d'optimiser les informations obtenues avec un nombre restreint, mais représentatif d'échantillons. De plus, étant donné que les volumes de minerai et de stériles qui seront exploités peuvent varier de quelques millions à plusieurs centaines de millions de tonnes, le nombre d'échantillons sélectionné ne doit pas être une valeur fixe, mais plutôt une quantité qui aura pour objectif d'assurer la représentativité de toutes les variations lithologiques, géochimiques, minéralogiques et métallogéniques d'un gisement (Québec MDDEP, 2012).

2.2.5.2 La problématique des effets d'échelles

Un autre défi de l'intégration de l'approche géométallurgique à l'environnement consistera à extrapoler et projeter dans le temps les résultats obtenus des essais réalisés dans un environnement

contrôlé en laboratoire à une halde à stériles exposée aux conditions naturelles. En fait, la problématique des effets d'échelles réside à transposer sur le terrain les taux d'oxydation des sulfures, les délais avant la génération de drainage minier acide ou de drainage neutre contaminé et les taux de lixiviation des métaux lourds obtenus en laboratoire lors d'essais en cellules humides, en cellules d'altération ainsi que lors des essais en colonnes. Bien que de nombreux travaux ont porté sur le sujet (Strömberg et Banward, 1999; Hanna et Lappako, 2009; Sappford, Bowel, Dey et Williams, 2009; Plante *et al.*, 2014 et Bornhorst et Logsdon, 2016), il n'existe actuellement aucune technique ou aucun modèle permettant de convertir les résultats de laboratoire à ceux qui seront obtenus sur le terrain (Sappford *et al.*, 2009). Les problèmes d'effet d'échelle et de transposition de résultats peuvent être associés à plusieurs facteurs qui affecteront les réactivités des minéraux et les taux de lixiviation des métaux.

2.2.5.2.1 La granulométrie des roches stériles et la surface spécifique

Contrairement aux résidus miniers qui possèdent une granulométrie assez homogène, les roches stériles empilées dans les haldes possèdent une granulométrie beaucoup plus hétérogène. En fait, les dimensions des fragments de stériles sont comprises entre une granulométrie de la taille des argiles ($< 2 \mu\text{m}$) à celle de la taille des boulders ($> 30 \text{ cm}$). Des travaux réalisés par McLaren (1986) ainsi que par McKeown, Barbour, Rowlett et Herasymuik (2000) ont démontrés qu'entre 3% et 40% de l'ensemble des fragments entreposés dans les haldes à stériles possèdent une dimension $< 2 \text{ mm}$. La proportion des particules fines qui seront présentent sera fortement influencée par certaines propriétés intrinsèques de la roche dont sa compétence (solidité) ainsi que sa résistance à l'érosion. Certains travaux (Birkeland, 1974; Carroll, 1970; Price, 1989) suggèrent que des roches à granulométrie fine (ex. basalte, dacite) produisent une proportion plus faible de particules de dimension $< 2 \text{ mm}$ que des roches modérément à grossièrement grenues (ex. intrusion de composition dacitique et QFP). Selon Choquette et Gélinas (1994), la proportion de particules $< 2 \text{ mm}$ peut excéder 40% du volume de fragments composant une halde à stérile, en particulier si la composition minéralogique des échantillons les prédispose à s'altérer rapidement sous l'effet des processus d'altération météorique. Un tel processus a été observé à la mine Doyon pour des fragments de roches stériles particulièrement riches en séricite (Choquette et Gélinas, 1994). La connaissance de la granulométrie des échantillons est donc importante pour évaluer la réactivité

des minéraux ainsi que l'ampleur de l'impact à long terme des résultats obtenus lors des essais en laboratoire.

Quoique les réactions chimiques d'altération météorique affectent toutes les tailles de fragments, les fragments les plus fins sont beaucoup plus sensibles et susceptibles d'être soumis aux transformations minéralogiques et géochimiques. C'est l'une des raisons pour laquelle les essais cinétiques réalisés en laboratoire ayant pour objectifs de provoquer rapidement des réactions chimiques portent sur les roches dont la granulométrie et la surface spécifique peut varier de $< 500 \mu\text{m}$ et de $2000 \text{ m}^2/\text{kg}$ pour les essais en mini-cellule d'altération et de $< 5 \text{ cm}$ et $13\text{-}95 \text{ m}^2/\text{kg}$ pour les essais en colonne. En comparaison, les stériles empilés dans les haldes peuvent présenter une granulométrie qui varie de quelques microns à métrique avec une surface spécifique qui peut atteindre $13 \text{ m}^2/\text{kg}$ (Plante *et al.*, 2014). Ces variations granulométriques entre les différents types d'essais peuvent avoir un effet allant d'un à deux ordres de magnitude sur les valeurs de conductivité (Plante *et al.*, 2014) entre les résultats d'essais en mini-cellules d'altération ou de cellules humides ($10\text{--}30 \mu\text{S}/\text{cm}$) et ceux provenant de cellules de terrain ($100\text{--}400 \mu\text{S}/\text{cm}$). L'effet de la granulométrie et de la surface spécifique affecte également la concentration des métaux présents dans les lixiviats. Certains essais ont démontré que les concentrations en soufre de lixiviats réalisés avec des mini-cellules d'altération étaient de $0,1\text{--}10 \text{ mg}/\text{L}$ alors que celles obtenues avec des essais en colonnes variaient de 10 à $30 \text{ mg}/\text{L}$ (Plante *et al.*, 2014).

2.2.5.2.2 Le rapport liquide/solide et le temps d'interaction

En général, le rapport liquide/solide est plus faible et le temps d'interaction est plus long dans les haldes à stériles que lors d'essais réalisés en laboratoire (Strömberg and Banwart, 1999; Sapsford *et al.*, 2009). À titre d'exemple, Plante *et al.* (2014) ont démontré que le rapport liquide/solide pour des mini-cellules d'altération variait de 5000 à $10000 \text{ L}/\text{m}^3/\text{semaine}$ alors qu'il était de $170 \text{ L}/\text{m}^3/\text{semaine}$ pour des essais en colonne et de seulement 24 to $28 \text{ L}/\text{m}^3/\text{semaine}$ pour des cellules de terrain. Ces écarts importants du rapport liquide/solide entre les différents types d'essais peuvent avoir pour effet d'exagérer la dissolution des minéraux neutralisants des échantillons soumis aux essais en cellules d'altération ou en cellules humides comparativement aux cellules de terrain et mener à des prédictions erronées sur les taux de dissolution en laboratoire (Strömberg and Banwart, 1999; Sapsford *et al.*, 2009).

2.2.5.2.3 La température et les conditions climatiques

La température et les conditions climatiques peuvent avoir un effet important sur les processus géochimiques qui influencent la composition du drainage minier dont les taux d'oxydation des sulfures, la précipitation et la dissolution des minéraux secondaires, la solubilité de l'oxygène et les taux de réactivités des minéraux neutralisants (Price, 2009; Plante *et al.*, 2014;). Les essais en laboratoire sont réalisés dans des conditions d'exposition et à des températures annuelles relativement constantes variant de 20 et 25 °C alors que dans les haldes exposées sur le terrain en Abitibi, la température annuelle varie entre -40 et 35°C. Ces écarts de température annuelle qui prévalent en laboratoire et sur le terrain pourraient expliquer, entre autres, l'observation que les taux d'altération des sulfures et particulièrement le taux de réaction de la pyrite seraient plus lentes dans les haldes à stériles que pour la pyrite soumise aux essais en laboratoire (Plante *et al.*, 2014). Strömberg et Banward (1999) mentionnent que la température serait responsable d'un ralentissement important du taux d'altération des sulfures exposés aux conditions de terrain.

Il faudra tenir compte dans l'interprétation de l'effet d'une exposition annuelle de plusieurs années sous les effets de conditions climatiques variables (ex. fonte des neiges, sécheresse, etc.). Dans les conditions naturelles d'entreposage, le centre des haldes est souvent caractérisé par des températures plus élevées qu'à la surface, ce qui peut avoir pour effet de modifier la cinétique des réactions chimiques de lixiviation des métaux (Lefebvre, Hockley, Smolensky et Gélinas, 2001; Lefebvre, Hockley, Smolensky et Lamontagne, 2001).

2.2.5.2.4 La concentration en oxygène

La concentration en oxygène a un effet important sur les taux d'oxydation des sulfures. Les essais en laboratoire sont généralement réalisés dans des conditions où la concentration en oxygène est d'environ 20%. Cette concentration en oxygène est également présente à la surface des empilements de stériles, mais diminue graduellement à mesure que l'on s'enfonce vers le centre et la base de la halde où elle peut atteindre 3% (Strömberg et Banward, 1999). Ces faibles concentrations en oxygène peuvent réduire considérablement les taux de réaction des sulfures situés au centre de la halde comparativement à ceux exposés en surface et dont les taux pourraient s'approcher de ceux mesurés en laboratoire.

2.2.5.2.5 La vitesse d'écoulement des eaux de lixiviation

La vitesse d'écoulement de l'eau dans les haldes à stériles est souvent très lente, voire même réduite, à nulle dans certaines zones, particulièrement celles de faible conductivité hydraulique. Les essais réalisés sur le terrain indiquent que de 30 à 45% de l'eau présente dans les haldes est immobile alors que de 55 à 70% présentent un certain écoulement selon des réseaux de drainage préférentiel (Eriksson, Gupta et Destouni, 1997; Strömberg et Banwart, 1999). Les endroits où l'eau est relativement immobile représentent des sites préférentiels d'accumulation de cations et/ou anions initialement dissous et lixiviés de phases minérales primaires des roches composants les stériles. Généralement, plus la vitesse de percolation des eaux de lixiviation est lente, plus les cations et anions lixiviés auront tendance à former des minéraux secondaires. La formation de ces minéraux réduira considérablement la mobilité et les concentrations des plusieurs cations et anions dans les eaux de drainage s'écoulant à l'extérieur de la halde. Cette lente circulation des eaux dans les haldes impliquerait également que les taux de lixiviation des cations et des anions seraient beaucoup plus faibles et de plusieurs ordres de magnitude inférieurs à ceux mesurés dans les essais utilisant des cellules humides (Sapford *et al.*, 2009). Plante *et al.*, 2014 mentionnent que les conditions rencontrées sur le terrain sont plus favorables à la précipitation de minéraux secondaires que les conditions prévalent lors des essais en laboratoire.

2.2.5.2.6 L'extrapolation des résultats

Un autre défi sera d'extrapoler, sur une période de plusieurs centaines d'années, les résultats et interprétations obtenus des tests et essais de laboratoire qui sont réalisés sur une période de quelques semaines voire plusieurs années et mêmes décennies. Ce défi sera d'autant plus important que les exigences en matière d'exploitation minérale devront respecter les critères de développement durable afin de minimiser les impacts environnementaux et de maximiser les impacts positifs sur la population.

Les principales caractéristiques et concepts utilisés pour les études géométallurgiques seront maintenant utilisés pour développer un protocole de travaux pour la réalisation d'une caractérisation et d'un modèle géoenvironnemental des stériles miniers. Les résultats obtenus seront corrélés entre eux et regroupés pour créer des domaines géoenvironnementaux. Ces domaines, ainsi que les caractéristiques minéralogiques et géochimiques qui leurs sont associées, pourront être utilisés pour générer des requêtes qui permettront de représenter dans l'espace les

secteurs d'un gisement qui seront susceptibles de présenter un risque environnemental. Pour réaliser ces requêtes et la représentation tridimensionnelle, il sera nécessaire d'inclure un volet numérique au protocole de caractérisation géoenvironnemental.

2.3 Le volet numérique

L'approche numérique sera utilisée dans le cadre du projet de recherche pour élaborer un modèle de caractérisation géoenvironnementale 3D des stériles miniers. Des corrélations entre les données pétrographiques, géochimiques et minéralogiques ainsi que celles obtenues des essais statiques et cinétiques seront réalisées afin de définir des unités géoenvironnementales et construire un modèle géoenvironnemental 3D. L'élaboration de ce modèle nécessitera l'intégration des paramètres au sein de cellules tridimensionnelles de dimensions restreintes. L'ensemble de ces cellules formera un volume appelé « voxet » dont les frontières correspondront aux limites externes de la fosse à ciel ouvert. Des requêtes utilisant les données géologiques et environnementales compilées ou acquises lors du projet de recherche seront réalisées afin de délimiter les zones et les différents types de risques environnementaux du gisement. Ce modèle élaboré au stade de faisabilité d'un projet minier aidera l'entreprise à optimiser la gestion des stériles miniers au moment de leur extraction.

2.3.1 Les Systèmes d'Information Géographique

Les systèmes d'information géographique (SIG) sont utilisés depuis plusieurs années par la commission géologique du Canada, le Ministère de l'Énergie et Ressources naturelles Québec ainsi que de nombreuses compagnies minières pour générer des cartes de potentiel minéral de certaines régions géologiques (Lamothe et Harris, 2005; McGaughey, 2006). Le choix d'utiliser un SIG pour l'exploration de futures mines est principalement basé sur son potentiel d'exploitation selon ses trois principaux composants soit : a) la gestion de base de données, b) ses capacités de représentations graphiques et 3) ses outils d'analyses spatiales. Dans un SIG, un grand nombre de données géologiques, géochimiques, topographiques et géophysiques peuvent être stockées, organisées et gérées pour des utilisations futures selon les besoins de l'entreprise (Harris, 2006). Ces données, qui doivent être obligatoirement géoréférencées en trois dimensions, sont souvent d'ordres géologiques, géochimiques, géophysiques, opérationnels (forages, données minières) et topographiques (Fallara, Legault et Rabeau, 2006). L'ensemble des données contenues dans un

SIG doit être rapidement accessible pour visualiser la distribution spatiale des échantillons répondant aux différents critères de la requête. Ces critères sont généralement axés sur le ou les types d'attributs ou d'emplacement (Harris, 2006). La combinaison des différentes requêtes permet de générer un modèle géologique, métallurgique ou environnemental tridimensionnel qui pourra être utilisé selon les besoins de l'entreprise. Ces modèles pourront être modifiés et améliorés à mesure que des données supplémentaires seront intégrées à la base de données, ce qui représente un avantage important de l'utilisation d'un SIG.

CHAPITRE 3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET MÉTHODOLOGIE

L'approche scientifique proposée dans ce projet de recherche comprend trois volets qui seront présentés dans les sections suivantes. Un premier volet portera sur la compilation des données géoscientifiques disponibles dans les rapports de travaux réalisés sur le projet minier. Un second volet analytique et expérimental comprendra la réalisation en laboratoire de travaux de minéralogie, d'analyses et d'essais statiques et cinétiques sur un certain nombre d'échantillons. Le troisième volet consistera à réaliser une analyse numérique des données analytiques et expérimentales obtenues afin de construire un modèle prédictif 3D de caractérisation du risque environnemental.

3.1 Compilation des données géologiques et environnementales

La première étape de la méthodologie est principalement axée sur un volet compilation de l'ensemble des données associées au projet minier. Il s'agit généralement des données de minéralogie, de géochimie, de géologie structurale de même que les paramètres environnementaux des lithologies qui composeront les stériles du gisement Akasaba Ouest. Ces données sont disponibles dans les bases de données des entreprises, les rapports de travaux d'exploration et les études thématiques. Comme nous le verrons dans le chapitre 4, les données qui seront compilées serviront de base à l'élaboration du protocole de caractérisation géoenvironnementale.

Les rapports de travaux géoscientifiques qui nous ont été transmis au début du projet de recherche par la minière Agnico Eagle Ltée portent sur la description et un avis du projet Akasaba Ouest (WSP Canada Inc., 2014), une étude des caractéristiques minéralogiques de deux échantillons métallurgiques (SGS Canada, 2014), l'étude d'impact environnemental et social (ÉIES) (WSP Canada Inc., 2015) et une étude de caractérisation géochimique statique et cinétique du minerai, des roches stériles et des résidus du projet Akasaba Ouest (Golder, 2015). De plus, Mines Agnico Eagle Ltée nous a également transmis au début du projet les résultats géochimiques provenant d'échantillons de la série AKA14-ENV qui ont été utilisés pour la caractérisation géochimique statique et cinétique (Golder, 2015). Les types de données disponibles dans ce rapport sont les suivantes :

- a) Les principales unités lithologiques du stérile et du minerai;
- b) Les analyses des teneurs en métaux, C_(carbonates) et S_(sulfures), S_(sulfates) des unités lithologiques;

- c) Les analyses du potentiel de génération acide (PN, PA, RPN, PN_{Carb} et RPN_{Carb});
- d) Les résultats d'essais de lixiviation des métaux (TCLP, SPLP et CTEU-9);
- e) Les résultats d'essais statiques chimiques Acisol et $\text{Na}_{\text{g}}\text{pH}$;
- f) Les résultats partiels sur 21 semaines d'essais sur des colonnes de lixiviation.

Les journaux de plus de 34 sondages réalisés sur le projet minier ont été transmis par la division Goldex de Mines Agnico Eagle Ltée. Les informations contenues dans ces journaux concernent les différents types de lithologies et d'altération, les textures et les structures ainsi que les différentes typologies de minéralisation. Les teneurs en Au, Ag, Cu et Zn ainsi que les résultats des analyses lithogéochimiques en éléments majeurs et traces sont également disponibles dans ces journaux. Les analyses en éléments majeurs et traces des 279 échantillons de carottes de forages avaient été remises.

3.2 Sélection et préparation des échantillons

Les échantillons utilisés dans la cadre de l'étude ont été présélectionnés au début du projet sur la base des données provenant de la caractérisation géochimique statique et cinétique réalisée par Golder (2015). Un total de 86 échantillons (AKA14-ENV-001 à AKA14-ENV-086) de 200 g chacun, comprenant 61 échantillons de roches stériles et 25 échantillons caractéristiques du minerai nous a été obtenus de Mines Agnico Eagle Ltée. Chacun des échantillons est composé de fragments provenant de sections d'une longueur de 3 mètres de carottes de forage. Tous les échantillons représentent les lithologies qui sont localisées à l'intérieur de l'empreinte de la future fosse et les parois qui seront exposées durant l'exploitation et après la fermeture de la mine.

De ces échantillons, 21 ont été sélectionnés afin de réaliser une première phase de caractérisation minéralogique et géochimique. Le nombre d'échantillons sélectionné pour la présente étude a été déterminé au prorata du volume des différentes lithologies qui composeront le stérile. Les principaux critères de sélection utilisés proviennent des données de compilation et sont : 1) le potentiel de lixiviation pour le cuivre, 2) les concentrations en C_{total} et S_{total} et 3) les valeurs des paramètres du bilan acide-base (PN, PA et RPN). Les observations rapportées dans les journaux de sondages, les résultats d'analyses lithogéochimiques et de métaux qui sont stockés dans les bases de données des entreprises ainsi que les observations de carottes de forages d'études minéralogiques (lames minces, sections polies etc.) peuvent également être utilisés pour la

sélection des échantillons. Cependant, ces données n'étaient pas disponibles au début de l'étude et n'ont donc pu être utilisées pour raffiner la présélection des 21 échantillons.

La réalisation de ces travaux comprend un volet analytique et expérimental qui nécessite l'utilisation de plusieurs types d'équipements et l'application de protocoles qui sont mentionnés dans les sections suivantes. La préparation des échantillons utilisés pour les travaux de laboratoire a été réalisée dans les salles de préparation de l'Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue à Rouyn-Noranda. Le protocole utilisé pour la préparation des échantillons et présentant les différents travaux et étapes des volets analytique et expérimental est présenté à la Figure 3-1.

La première phase de préparation comprend le broyage des échantillons présélectionnés avec un concasseur à mâchoires. Cette étape de broyage a pour but de réduire la taille des échantillons à moins de 4,76 mm (4 mesh). Par la suite, ces fragments ont été récupérés et à nouveau concassés ou broyés à l'aide d'un marteau et d'une plaque métallique ou d'un broyeur à disque pour atteindre une taille égale ou inférieure à 2,38 (8 mesh). Un tamisage manuel a été réalisé afin de s'assurer de la taille granulométrique. Cette dimension a été privilégiée sur la base de la dimension maximum des grains de sulfures (pyrite et chalcopirite) observés dans les échantillons macroscopiques ainsi que sur les résultats obtenus des travaux de McLaren (1986) et de McKeown *et al.*, (2000). Ces auteurs mentionnent qu'entre 3% et 40% des fragments composant une halde à stérile possèdent une dimension inférieure à 2 mm.

Les fragments récupérés de dimension $\leq 2,5$ mm ont été homogénéisés et quartés en deux sous-fractions (A et B) de 100 g chacune à l'aide d'un diviseur à riffles. Les échantillons de la sous-fraction A ont été par la suite pulvérisés à une dimension dont plus de 90 % de la taille de l'échantillon passera la taille de 75 μm (-200 mesh). La pulvérisation a été réalisée dans des bols en fer à l'aide d'un pulvérisateur à billes de marque Pulvérisette 5 de la compagnie Fritsch. Un nettoyage des bols et des billes avec du sable de silice a été réalisé entre chaque phase de pulvérisation pour réduire les effets de contamination entre les échantillons. La pulpe obtenue a été homogénéisée et utilisée pour effectuer des analyses chimiques pour déterminer les concentrations en éléments majeurs, traces, métaux, C_{total} (inorganique) et le S_{total} . La pulpe a également été utilisée pour réaliser des mesures de densité et de surface spécifique de chaque sous-échantillon ainsi que pour effectuer des études minéralogiques en diffraction X.

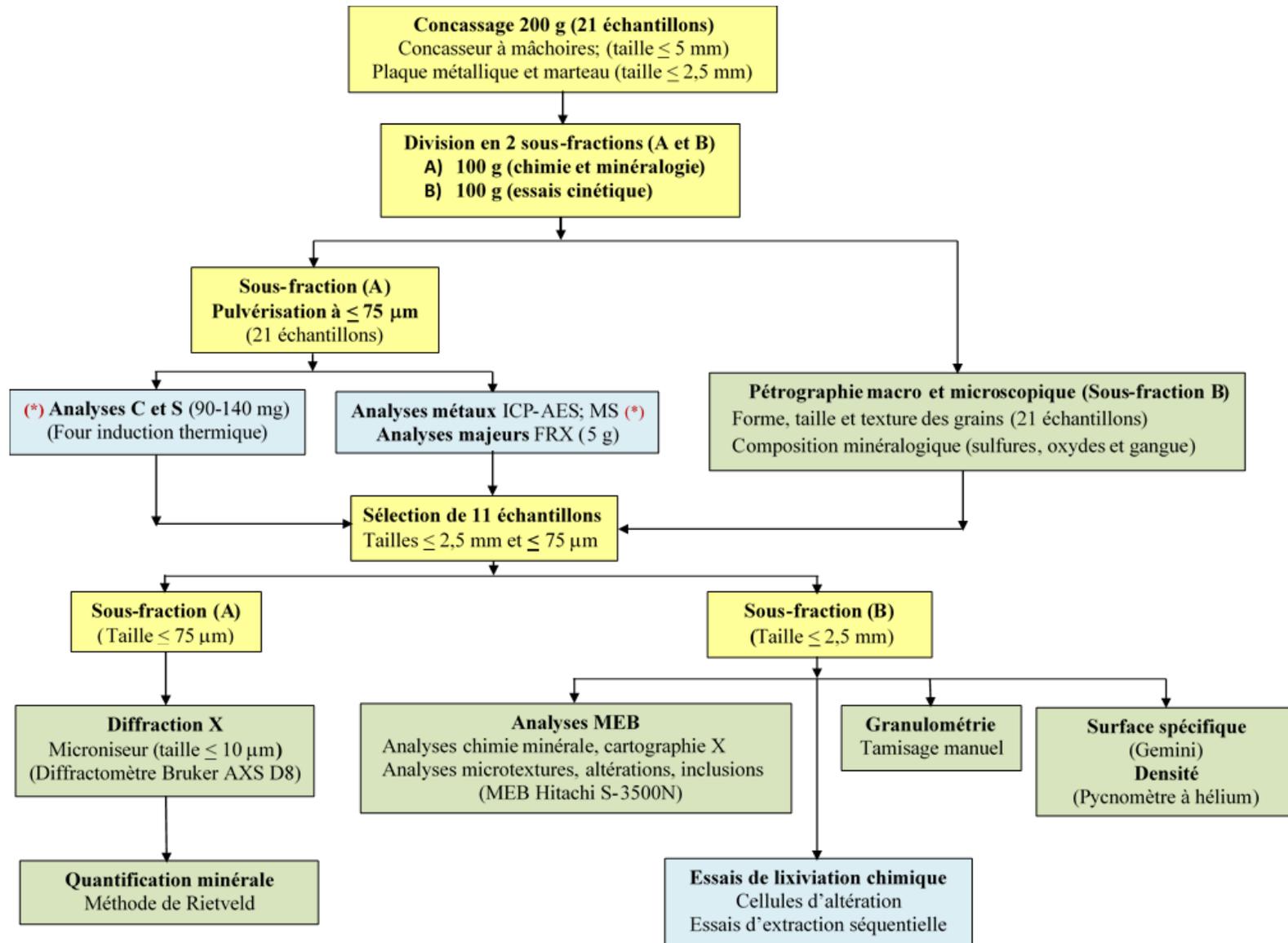


Figure 3-1 Méthodologie et protocole des travaux de laboratoire

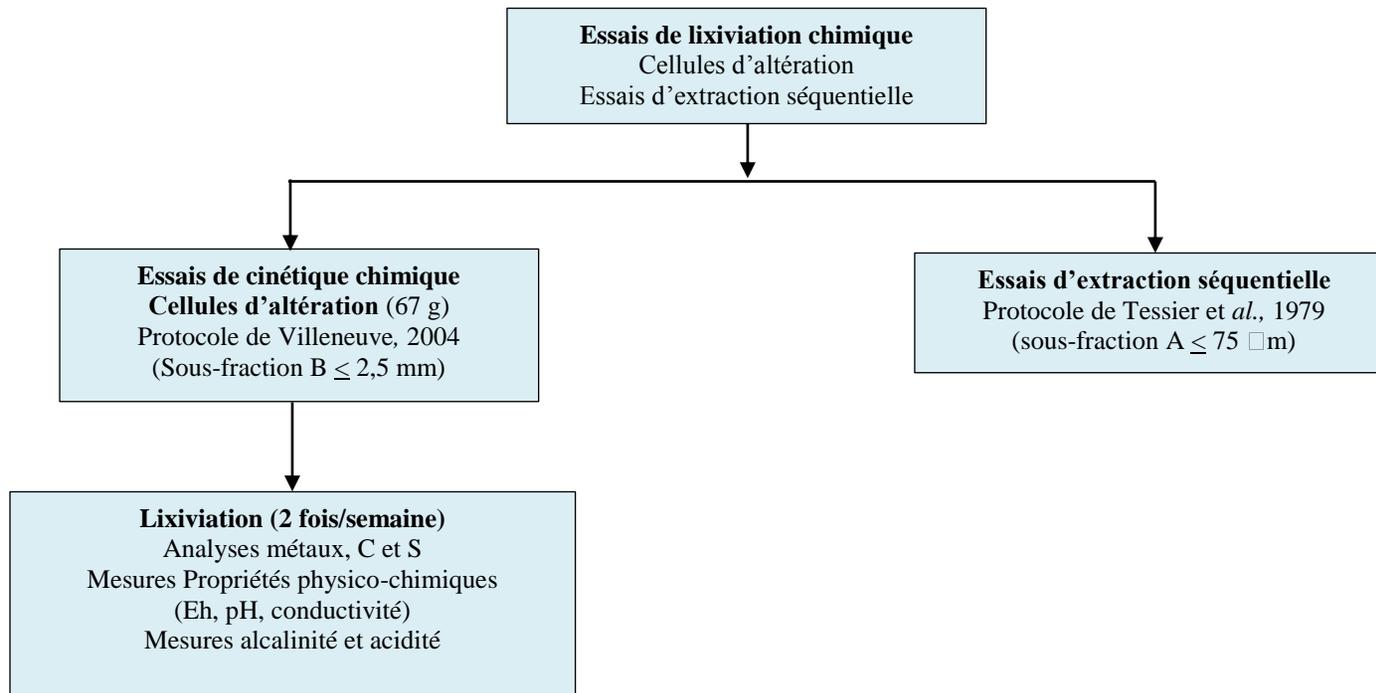


Figure 3-1 Méthodologie et protocole des travaux de laboratoire

Les fragments de la sous-fraction B, dont la dimension est inférieure à 2,5 mm, ont été conservés pour fabriquer des sections polies utilisées pour les travaux de microscopie. Ces fragments seront également utilisés pour réaliser des mesures de taille granulométrique et de surfaces spécifiques ainsi que des essais cinétiques et d'extraction séquentielle des métaux en laboratoire.

La dimension de la taille granulométrique médiane (D_{50}) de même que la surface spécifique des échantillons sont des paramètres importants à déterminer, car ils permettent d'obtenir une évaluation des dimensions des surfaces de roches et de minéraux qui interagiront avec les eaux de rinçage lors d'essais. La dimension de ces surfaces aura un impact considérable sur le taux d'altération et conséquemment de lixiviation d'un échantillon. La dimension granulométrique a été établie à la suite du tamisage manuel de fragments de carottes de forages. Ces carottes ont été préalablement concassées et broyées en laboratoire et la granulométrie obtenue ne représente pas nécessairement celle qui sera observée dans les haldes à stériles d'Akasaba Ouest. Lors de l'étape de tamisage, nous avons utilisé cinq tamis dont la taille de criblage varie de 2 mm à 315 μm .

3.3 Méthodes de caractérisation minéralogique

Les observations et les analyses des compositions minéralogiques des échantillons constituent des composantes essentielles de la caractérisation géoenvironnementale de stériles miniers. Les principaux travaux réalisés au cours de cette étude sont présentés dans les sections suivantes.

3.3.1 Observations macroscopiques et microscopiques

La composition minéralogique des 21 échantillons a initialement été décrite à l'aide d'un microscope binoculaire sur des échantillons macroscopiques. Ce type d'observation permet d'obtenir une première identification des principales phases minérales ainsi que la forme et la taille des grains. Après cette première phase de description, des sections polies de chacun de ces échantillons ont été préparées afin de réaliser des observations microscopiques détaillées. La préparation d'une section polie exige de mélanger des fragments d'échantillon à un mélange composé de graphite, de résine et d'un durcisseur dans une proportion respective de 250 mg, 10 ml et 1,25 ml. Les mélanges sont séchés entre 24 à 48 heures avant d'être polis avec un appareil de marque TegraPol-25 de la compagnie Struers. Le type de grain des plaques de polissage à utiliser pour les étapes #1 à #6 ainsi que la durée du temps de polissage pour les plaques #1 à #3 sont

respectivement de 120 (30 s), 220 (60 s), 1200 (6 min), 9 μm , 3 μm et 1 μm . Le polissage avec les plaques #4 à #6 (de 9 à 1 μm) nécessite l'utilisation d'un savon polisseur pour chaque polissage.

Chaque section polie représente un composite de fragments dont la dimension est supérieure ou égale à 5 mm. L'observation microscopique de 21 sections polies a été réalisée en premier lieu avec un microscope de type Imager.M2m de la compagnie Zeiss. Ces observations avaient pour but d'identifier les principales phases minérales de types sulfures, d'oxydes et de sulfosels présents ainsi que les relations texturales avec les minéraux de la gangue. Une attention particulière a été portée aux minéraux des classes sulfures et oxydes afin de vérifier les états d'altération de leurs surfaces, du degré de fracturation de même que la présence possible d'inclusions ou d'intercroissances. L'identification de ces phases permettra éventuellement d'expliquer les teneurs en métaux obtenus dans les lixiviats des essais cinétiques en mini-cellules d'altération et d'extraction séquentielle.

3.3.2 Diffraction X

Des analyses en diffraction des rayons X (DRX) ont été réalisées sur les 11 échantillons sélectionnés pour les essais cinétiques en mini-cellules d'altération. Les critères de sélection de ces échantillons sont présentés au chapitre 4. Ces analyses ont permis d'identifier les phases minéralogiques présentes dans chacun des échantillons et d'effectuer une évaluation quantitative de leurs proportions. Les analyses ont été réalisées en utilisant un diffractomètre de marque Bruker A.X.S. D8 Advance X-ray diffraction avec une limite de détection et une précision de 0,1 à 0,5 %. Préalablement aux analyses de diffraction X, une quantité approximative de 5 g de pulpes d'échantillons de dimension inférieure à 75 μm a été micronisée à une dimension de 10 μm à l'aide d'un microniseur. Les résultats obtenus et l'interprétation des spectres de diffraction X sont analysés en utilisant les logiciels de Diffrac^{plus} qui sont Topas pour la détermination quantitative des phases et le logiciel Eva utilisant la méthode de Rietveld pour leur quantification.

3.3.3 Le microscope électronique à balayage

Le microscope électronique à balayage (MEB) constitue une autre technique de caractérisation minéralogique utilisée dans le cadre de cette recherche. Les travaux réalisés au MEB avaient pour objectif de raffiner l'identification minérale réalisée en diffraction X, d'obtenir la composition stoechiométrique des phases minérales et d'identifier les phases hôtes de métaux potentiellement

délétères. Les observations réalisées au MEB permettent également d'observer les relations texturales du minerai avec ceux de la gangue.

Un total de 4 échantillons analysés en diffraction X ont été utilisés pour les analyses minéralogiques au MEB. La sélection de ces échantillons est basée sur les résultats des essais en mini-cellules d'altération. Quatre autres échantillons ont également été recueillis après le démantèlement des mini-cellules d'altération afin de vérifier les variations des compositions chimiques de certaines phases minérales. L'appareil utilisé est de marque Hitachi S-3500N équipé d'un spectromètre possédant un détecteur d'énergie dispersive (EDS) de type Oxford X-Max 20 mm² permettant d'obtenir des analyses chimiques. La limite de détection est de l'ordre de 1% à l'échelle du grain. La morphologie sera analysée en imagerie à électrons rétrodiffusés (backscattered) sur des sections polies qui ont initialement été utilisées pour la caractérisation préliminaire des phases minérales au microscope en lumière réfléchie.

3.3.4 Logiciels de calculs de minéralogie normative

Les résultats obtenus des analyses géochimiques pour les éléments majeurs ont été utilisés pour déterminer la composition normative « norme » des minéraux primaires et secondaires de chaque échantillon. Deux types de norme minéralogique peuvent être calculés avec les compositions chimiques, soit la norme CIPW (Cross *et al.*, 1903) et la norme CONSONORM LG (Trépanier *et al.*, 2015). Le principal intérêt d'utiliser les calculs de norme minéralogique est qu'ils permettent d'obtenir une évaluation quantitative rapide des compositions minéralogiques d'une grande quantité d'échantillons et ce, à très faible coût.

La norme CIPW peut être utilisée pour quantifier la composition des minéraux primaires d'un échantillon. La problématique avec l'utilisation de cette norme est qu'elle est inadéquate pour les besoins de caractérisation géoenvironnementale puisqu'elle ne prend pas en considération les minéraux secondaires issus du métamorphisme ou de l'altération hydrothermale. Des logiciels tels NORMAT (Piché et Jébrak, 2004) et LITHOMODELEUR (Trépanier *et al.*, 2015) sont actuellement disponibles pour permettre d'identifier et de calculer les compositions normatives des minéraux primaires et secondaires. Le logiciel LITHOMODELEUR et la norme CONSONORM LG sont utilisés pour les présents travaux de caractérisation géoenvironnementale. L'un des avantages de cette norme est qu'elle permet d'identifier et de calculer, en plus des silicates et des carbonates, les proportions de minéraux normatifs des classes sulfures et oxydes de fer. Les

résultats des calculs normatifs seront comparés à ceux obtenus des observations pétrographiques ainsi qu'aux résultats quantitatifs de l'interprétation des spectres de diffraction X et des analyses réalisées au MEB.

3.4 Méthodes de caractérisation géochimique

Plusieurs types d'analyses ont été réalisés dans les travaux de caractérisation géochimique. Les analyses en éléments majeurs et traces permettront d'effectuer une discrimination lithogéochimique des échantillons qui servira pour la classification des différents types de roches et la définition des domaines géoenvironnementaux. Tel que mentionné précédemment, les résultats de ces analyses seront également utilisés, pour effectuer des calculs de compositions normatives de minéraux primaires et secondaires. Les résultats ainsi obtenus seront combinés aux observations minéralogiques pour conduire à l'identification des phases minérales potentiellement acidifiantes et neutralisantes. Les résultats obtenus des travaux de géochimie et de minéralogie normative permettront de sélectionner les échantillons qui seront utilisés pour réaliser l'étude de caractérisation géoenvironnementale du gisement Akasaba Ouest. Les différentes méthodes analytiques chimiques utilisées pour déterminer les concentrations des éléments chimiques sont présentées dans les prochaines sections.

3.4.1 La fluorescence X

Des analyses complémentaires ont été réalisées à l'automne 2016 sur les 86 échantillons de la série AKA14-ENV afin de déterminer les concentrations pour 12 éléments majeurs sous forme oxydes par fluorescence X. Les analyses ont été réalisées au laboratoire de SGS de Lakefield en Ontario. Ces analyses sont devenues essentielles pour la classification lithogéochimique des stériles dans le cadre du projet de recherche et n'étaient pas disponibles dans le rapport de l'étude de caractérisation géochimique statique et cinétique (Golder, 2015). La préparation d'un échantillon pour l'analyse nécessite une fusion au borate de 5 g de pulpe de roches pour être ensuite analysée avec un spectromètre à fluorescence X. La limite de détection pour les éléments majeurs est de 0,01%. Comme il s'agit d'un laboratoire commercial, les caractéristiques de l'appareil utilisé pour les analyses en fluorescence X ne sont pas disponibles.

3.4.2 Les spectromètres à source ionisante au plasma et à couplage inductif

Les spectromètres à source ionisante au plasma et à couplage inductif (ICP) ont été utilisés pour déterminer les concentrations en métaux des échantillons de roches ainsi que des échantillons d'eaux de lixiviation des essais cinétiques de mini-cellules d'altération.

Plusieurs phases d'analyses ont été réalisées sur un total de 282 échantillons de stériles et de minerai du projet Akasaba Ouest. La première phase a été réalisée lors des travaux d'exploration du gisement. Aucune information n'est disponible concernant les techniques d'analyse utilisées. Une seconde phase d'analyse a été réalisée en 2015 et les résultats obtenus ont été compilés à partir du rapport de l'étude de caractérisation géochimique (Golder, 2015). Pour cette phase, les concentrations en métaux des 86 échantillons ont été déterminées selon la méthode d'analyse MA 200 - Met 1.2 (CEAEQ, 2014a). Une troisième phase d'analyse en métaux a été réalisée au printemps 2015 sur les 21 échantillons qui ont été présélectionnés à la première étape de la présente étude de caractérisation environnementale. Environ 100 mg de pulpes de ces échantillons ont subi une digestion utilisant trois acides, HNO₃, HF et HCl. Un puissant agent oxydant, le Br₂, a été ajouté aux acides décrits précédemment.

Les analyses en métaux des échantillons de roches ont été réalisées dans les laboratoires de l'UQAT en utilisant un spectromètre à émission atomique (ICP-AES) de modèle Agilent Technologie 7700. Des échantillons de blancs de chimie, des standards et des duplicatas d'échantillon ont été insérés dans la séquence d'analyse. Deux protocoles ont été utilisés pour les analyses. Le premier protocole nommé « digestion normale » a été utilisé pour les analyses de 24 métaux (Al, As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, S, Sb, Se, Sn, Ti et Zn). Les limites de détections pour les éléments analysés avec ce protocole varient de 5 à 60 mg/kg (ppm) pour les métaux et de 200 mg/kg pour le soufre. Cependant, certains métaux dont As, Be, Bi, Sb, Se et Te peuvent être volatilisés avec l'utilisation du protocole digestion. Pour s'assurer d'une meilleure exactitude et précision des teneurs pour ces métaux, le protocole nommé « métaux lourds » a également été utilisé pour l'analyse des 21 échantillons. Les limites de détections avec ce protocole varient de 1 à 30 mg/kg. Ce protocole comprend une digestion avec les mêmes acides que ceux utilisés pour la digestion normale, mais avec une quantité moindre de HCl.

Une quatrième phase d'analyses a été réalisée à l'automne 2016 sur les 86 échantillons (série AKA14-ENV). Les échantillons ont été analysés au laboratoire de SGS de Lakefield (Ontario). Il

s'agit des mêmes échantillons que ceux mentionnés à la section de la fluorescence X. La digestion des échantillons s'est effectuée par une fusion au peroxyde de sodium suivi d'une analyse de 56 métaux utilisant un ICP-AES ou un ICP-MS. Les limites de détection pour les métaux varient de 0,05 à 10 ppm. Comme il s'agit d'un laboratoire commercial, les caractéristiques de l'appareil utilisé pour les analyses ne sont pas disponibles.

3.4.3 Les essais statiques chimiques avec concentrations en C_{total} et S_{total}

Trois séries d'analyses ont été réalisées pour déterminer les concentrations en soufre total (S_{tot}) et carbone total (C_{tot}). La première série d'analyses a été réalisée en août 2014 sur les échantillons de la série AKA14-ENV et les résultats obtenus sont disponibles dans le rapport de caractérisation géochimique statique et cinétique (Golder, 2015). La seconde série a été réalisée à l'été 2015 sur les 21 échantillons présélectionnés pour la caractérisation géoenvironnementale du projet de recherche. L'objectif de cette seconde phase d'analyse consistait à comparer les résultats obtenus avec ceux disponibles dans le rapport de Golder (2015) pour vérifier la fiabilité de ces dernières.

La troisième série d'analyse a été réalisée à l'automne 2017 sur un total de 66 échantillons de carottes de forages. Ces échantillons ont été recueillis dans le but de compléter des séquences d'analyses manquantes de certains sondages du projet Akasaba Ouest pour ainsi obtenir une base de données plus complète et qui sera ultérieurement utilisée pour le modèle géoenvironnemental. Les résultats obtenus seront combinés avec ceux des échantillons de la série AKA14-ENV pour calculer les différents paramètres utilisés dans le bilan acide-base. Les analyses de la troisième phase ont été réalisées dans les laboratoires de l'UQAT sur des échantillons de 90 à 138 mg avec un four thermique à induction de haute fréquence de type Eltra CS-2000. La méthode de préparation de l'échantillon correspond à la procédure PE3-AC-26 établie à l'UQAT. Le protocole d'analyse stipule que l'échantillon est placé dans un creuset en céramique dans lequel on ajoute du fer pour faciliter l'induction de chaleur et du tungstène pour diminuer les effets d'éclaboussement du mélange lors de l'analyse. L'échantillon est par la suite inséré dans une chambre à combustion saturée en oxygène qui sert de gaz pour transporter le soufre et le carbone oxydés (SO_2 et CO_2) vers l'analyseur. Les limites de détection de l'appareil sont de 0,05 % pour le carbone total et de 0,004 % pour le soufre total alors que les limites de quantification sont respectivement de 0,16% et de 0,01. Des échantillons de standards et de blanc de chimie sont généralement utilisés pour vérifier la qualité de l'analyse.

3.4.3.1 Calculs des paramètres du bilan acide-base (BAB)

L'un des nombreux essais statiques chimiques suggérés par le protocole de caractérisation géoenvironnementale consiste à utiliser les concentrations en S_{tot} et en C_{tot} pour déterminer le potentiel d'acidification (PA) et le potentiel de neutralisation (PN) d'un échantillon. Les valeurs ainsi obtenues permettent de déterminer le bilan acide-base (BAB) de l'échantillon en calculant le potentiel net de neutralisation (PNN) et le rapport du potentiel de neutralisation (RPN). Les essais statiques chimiques ont pour avantages d'être largement utilisés et documentés dans la littérature scientifique. Ils sont rapides et faciles à réaliser à faibles coûts. Ces essais permettent d'analyser et de filtrer un grand nombre d'échantillons pour sélectionner ceux qui nécessiteront des essais complémentaires dans une phase d'évaluation ultérieure ayant pour objectif de mieux caractériser et préciser les risques environnementaux. Parmi ces essais, mentionnons les essais statiques chimiques utilisés par Parbhakar-Fox *et al.*, 2011; 2013; Brough *et al.*, 2013 et les essais statiques minéralogiques (Lawrence et Scheske, 1997; Paktunc, 1999b). Les essais statiques ne donnent cependant aucune information sur la cinétique et l'étendue des réactions chimiques de génération et/ou de neutralisation d'acide ni ne permettent d'évaluer les taux de réactivité des minéraux acidifiants ou neutralisants (Coasted Research inc., 2008).

Le PA correspond à l'acidité qui peut être générée par un échantillon. La production de cette acidité est associée à l'oxydation chimique de sulfures, à la dissolution de sels acides ou à l'hydrolyse de métaux dont le fer, le manganèse ou l'aluminium. La détermination du PA théorique est obtenue en considérant la concentration en soufre totale (S_{total}) d'un l'échantillon obtenu par l'analyse sur un échantillon au four au four à induction (CEAEQ, 2013) ou la concentration en soufre sulfure (S_{sulfure}). Nous considérons que la possibilité de former des minéraux sulfatés est très faible sur un intervalle de temps de moins de 2 ans, soit entre l'année des forages et le début du projet de recherche. De plus, les carottes extraites en 2014 ont été entreposées dans une carothèque à l'abri des conditions climatiques et les observations macroscopiques et microscopiques n'ont pas mis en évidence la présence de sulfates. Ces interprétations et observations nous amènent à considérer que tout le S_{total} analysé correspond au S_{sulfure} et que la détermination du PA est obtenue avec l'équation 3.1 (Price, 2009):

$$PA = S_{\text{Total}} \times 31,25 \quad (\text{équation 3.1})$$

Cette équation est basée sur les hypothèses suivantes : a) la réaction d'oxydation chimique du ou des différents sulfures présents dans un échantillon suivra la même formulation stoechiométrique que celle associée à l'oxydation de la pyrite et que b) tout l'acide produit par l'oxydation chimique des sulfures sera neutralisé par un seul type de carbonate, soit la calcite.

Pour la plupart des méthodes utilisées pour les essais statiques chimiques, la détermination du PA demande d'utiliser l'équation 3.1. Cependant, certaines méthodes d'analyses statiques chimiques demandent d'utiliser le S_{sulfure} à la place du S_{total} dans l'équation 3.1 pour déterminer le PNN (Lawrence et Wang, 1996). Si la présence de minéraux sulfatés est détectée dans l'échantillon, la concentration en S_{sulfure} peut être obtenue en soustrayant la concentration en soufre des sulfates (S_{sulfate}) du S_{total} selon l'équation 3.2:

$$S_{\text{sulfure}} = S_{\text{total}} - S_{\text{sulfate}} \quad (\text{équation 3.2})$$

Le potentiel de neutralisation (PN) est le second des deux paramètres à mesurer pour déterminer le bilan acide base et calculer le PNN et le RPN d'un échantillon. Le PN correspond : a) à la quantité d'acide qui peut être consommé par les minéraux acidivores dont les carbonates, les silicates et les hydroxydes présents dans un échantillon ou b) le volume d'alcalinité que cet échantillon peut relâcher lors d'un essai en laboratoire (Jambor *et al.*, 2003). Il existe plusieurs méthodes chimiques permettant de déterminer le PN. L'une de ces méthodes requiert de déterminer la concentration en carbone total (C_{total}) d'un échantillon et d'appliquer une équation mathématique simple pour calculer une valeur préliminaire du PN associé aux carbonates (PN_{Carb}) selon l'équation 3.3 (Price, 2009):

$$\text{PN}_{\text{Carb}} = 83,3 \times \% C_{\text{Carbonate}} \quad (\text{équation 3.3})$$

La détermination du PN_{Carb} doit prendre en considération d'utiliser la concentration en carbone relié uniquement aux carbonates, surtout si du graphite ou de la matière organique sont présents dans l'échantillon. Le facteur de conversion de 83,3 est déterminé en considérant que tous les carbonates neutralisent l'acide selon l'équation stoechiométrique de neutralisation par la calcite. Les résultats des calculs du PN_{Carb} peuvent être réévalués lors de la phase de mise en valeur du protocole de caractérisation géoenvironnemental, en particulier si l'on connaît les compositions et les proportions des minéraux normatifs et/ou évaluer à l'aide des résultats de DRX des échantillons. La présence dans un échantillon de carbonates autres que la calcite (ex. dolomite, magnésite,

sidérite et ankérite) pourrait limiter l'utilisation de cette équation ou mener à une modification de cette dernière. Pour améliorer la précision du calcul, il faudrait adapter le facteur de conversion de 83,3 selon le ou les types ainsi que les proportions normatives de carbonates présents dans l'échantillon.

L'utilisation de l'équation 3.3 est également remise en question si des carbonates de fer sont présents dans un échantillon. Les carbonates de fer sont caractérisés par un potentiel de neutralisation très faible, voire inexistant (Coastec Research Inc., 2008 Skousen *et al.*, 1997). De plus, la présence de cations susceptibles d'être oxydés, dont le Fe, va générer de l'acidité et aura pour effet de réduire la valeur du PN des lithologies contenant de la sidérite. Plante *et al.*, (2012) proposent de modifier l'équation 3.2 pour déterminer un PN Carbonate corrigé (PNCC) qui tient compte de la présence de sidérite dans un échantillon. L'équation 3.4 donne le PNCC :

$$\text{PNCC} = \text{PNC} - 8,64 \times \% \text{FeCO}_3 \quad (\text{équation 3.4})$$

Des résultats d'essais réalisés par Plante *et al.* (2012) sur cinq échantillons de rejets miniers indiquent que les valeurs de PNCC sont plus élevées que celles obtenues avec la méthode Sobek modifiée. Les divergences entre les résultats de ces deux méthodes seraient probablement associées, pour le PNCC, à une quantification incorrecte de la proportion de sidérite dans un échantillon. Bien que les calculs de minéraux normatifs donnent une évaluation acceptable de la quantification des carbonates de fer dans un échantillon, une étude de minéralogie quantitative serait souhaitable pour améliorer cette précision. Il faut également prendre en considération que les valeurs de PN_{Carb} et de PNCC calculées ne sont que théorique et ne prennent pas en considération l'aspect cinétique et des interactions concomitantes entre les différentes phases minérales.

Les données d'essais statiques chimiques qui ont été réalisés à l'UQAT proviennent de l'analyse de 66 échantillons analysés pour déterminer les concentrations en carbone total (C_{tot}) et soufre total (S_{tot}). De plus, 84 autres analyses qui seront incluses dans notre caractérisation géoenvironnementale proviennent de la compilation de résultats des essais statiques chimiques Acisol (CEAEQ, 2012a) qui sont utilisés pour déterminer le potentiel de neutralisation brut (PN) d'un échantillon. Les résultats de ces essais sont disponibles dans le rapport de l'étude de caractérisation géochimique statique et cinétique du projet Akasaba Ouest (Golder, 2015).

Lorsque les valeurs du PA et du PN sont connues pour chacun des échantillons, les valeurs de PNN et de RPN seront calculées en utilisant les équations 3.5 et 3.6 (Price, 2009):

$$\text{PNN} = \text{PN} - \text{PA} \quad (\text{équation 3.5})$$

$$\text{RPN} = \text{PN}/\text{PA} \quad (\text{équation 3.6})$$

Les résultats obtenus permettront ainsi d'établir le bilan acide-base des échantillons. La Directive 019 (Québec, MDDEP 2012) considère qu'un échantillon peut être considéré comme acidogène si concentration en S_{total} est $> 0,3\%$ et s'il possède un $\text{RPN} < 3$ et/ou si son PNN est < 20 kg $\text{CaCO}_3/\text{tonne}$. Selon Price (2009), un échantillon est considéré comme étant potentiellement générateur acide si la valeur de son RPN est inférieure à 1 alors qu'il est considéré comme potentiellement non-générateur acide pour un RPN supérieur à 2. Un échantillon caractérisé par une valeur de RPN située entre 1 et 2 sera considéré comme possédant un caractère incertain de génération acide. Price (2009) mentionne que le PNN ne serait seulement utilisé à titre informel pour indiquer si le RPN est > 1 ou < 1 et n'est donc pas recommandé pour évaluer le potentiel acidogène. Il est également non recommandé de n'utiliser uniquement que la concentration en S_{total} pour évaluer le potentiel de drainage minier acide à moins de connaître la valeur du PN. Même de très faibles concentrations en S_{total} peuvent générer un drainage acide si le PN d'un échantillon est très faible (Price, 2009).

3.4.4 Les essais statiques minéralogiques

Les essais statiques minéralogiques nécessiteront l'utilisation des méthodes de Lawrence et Scheske et de Paktunc.

3.4.4.1 Méthode de Lawrence et Scheske

Les essais statiques minéralogiques peuvent être utilisés pour calculer les valeurs de PN d'un échantillon à partir d'un assemblage minéralogique contenu dans ce dernier. Le protocole de caractérisation géoenvironnementale suggère que des tests statiques minéralogiques soient introduits au stade de mise en valeur du gisement. L'approche développée par Lawrence et Scheske (1997) demande de calculer le potentiel de neutralisation de chaque phase minérale qui participera à la neutralisation de l'acide générée par l'oxydation des sulfures dans un échantillon en incluant

les silicates. La valeur du potentiel de neutralisation d'un échantillon correspondra ainsi à la somme des valeurs de PN de tous les minéraux neutralisants selon l'équation 3.7 :

$$PN = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{t}} \times M_{\text{CaCO}_3} \times \sum_{i=1}^n \frac{C_i \times R_i}{M_i} \quad (\text{équation 3.7})$$

Dans l'équation 3.5, M_{CaCO_3} correspond à la masse molaire de la calcite, C_i la proportion ou concentration (%), R_i le taux de réactivité et M_i masse molaire d'un minéral « i ». L'approche développée par Lawrence et Scheske utilise les analyses de la composition chimique en éléments majeurs ainsi que la concentration en carbone inorganique pour obtenir la composition normative basée sur la norme CIPW (Cross, Iddings, Pirsson et Washington, 1903; Cox, Bell et Pankhursts, 1979). Cette norme ne permet cependant que de quantifier la composition minéralogique normative des minéraux primaires d'un échantillon. L'approche nécessite de connaître les valeurs de réactivités relatives des minéraux normatifs par rapport à la calcite. Certaines de ces valeurs sont disponibles dans la littérature (Sverdrup, 1990; Kwong, 1993).

Bien que l'équation 3.5 permet de calculer le PN de chaque minéral susceptible de participer à la neutralisation de l'acide, elle ne prend pas en considération la présence de fer et/ou de manganèse dans ces minéraux dont l'oxydation ou l'hydrolyse auraient pour effets de générer de l'acidité et ainsi réduire le PN (Plante *et al.*, 2012). Les phases minérales calculées par l'utilisation de la norme CIPW sont cependant celles qui se sont formées lors de la cristallisation initiale de la roche. Cette norme ne calcule pas les phases secondaires qui sont issues des effets du métamorphisme ou de l'altération hydrothermale. Les proportions de ces dernières sont essentielles à connaître puisque les phases minérales secondaires seraient moins réactives que les phases primaires en conditions de drainage minier acide, ce qui aurait pour effet de surestimer les valeurs calculées du PN (Lawrence et Scheske, 1997; Paktunc, 1999a et b). De plus, les données disponibles dans la littérature indiquent une grande variabilité des valeurs du taux de réactivité (R_i) pour un même minéral. L'obligation de choisir une valeur au détriment d'une autre pour une ou plusieurs phases minérales peut mener à des résultats très différents des valeurs de PN et ce, pour une même paragenèse minérale. Une comparaison avec des résultats menés en laboratoire indique que des valeurs de réactivité de la littérature semblent parfois trop élevées (Paktunc, 1999b).

3.4.4.2 Méthode de Paktunc

La méthode développée par Paktunc (1999b) calcule les potentiels de neutralisation et d'acidification de chaque phase minérale susceptible de participer à la neutralisation de l'acide et fait une sommation de toutes les valeurs obtenues pour obtenir le PN et la PA final de l'échantillon (équations 3.8 et 3.9). Cette approche a de plus l'avantage d'intégrer une composante cinétique (oxydation et neutralisation) et granulométrique à l'évaluation des potentiels et tient compte de la présence du fer et du manganèse dans les minéraux neutralisants. Cependant, la méthode de Paktunc considère que seuls les carbonates participent à la neutralisation de l'acide.

$$PN = \sum_{i=1}^k \frac{98 \times 10 \times X_i \times c_i \times n_s}{n_i \times w_i} \quad (\text{équation 3.8})$$

$$PA = \sum_{i=1}^k \frac{98 \times 10 \times X_s \times n_s}{w_s} \quad (\text{équation 3.9})$$

10: Facteur de conversion

X_i : Proportion (%) du minéral «i» (non sulfuré);

X_s : Proportion (%) du minéral «s» (sulfuré)

c_i : Nombre de cations non oxydables du minéral neutralisant «i»

n_s : Nombre de moles de H_2SO_4 formé par l'oxydation d'une mole du minéral sulfuré «s»

n_i : Nombre de moles d'un minéral «i» requis pour consommer une mole d'acide produit de l'oxydation de une mole de minéral sulfuré «s»;

w_s : Masse molaire du minéral sulfuré «s» (g/mol)

w_i : Masse molaire du minéral non sulfuré «s» (g/mol)

$n_{M,i}$: Facteur stoechiométrique de génération d'acide;

$n_{M,a}$: Facteur stoechiométrique de neutralisation d'acide.

L'utilisation d'essais statiques minéralogiques dans de nombreuses études de prédiction environnementale a été restreinte dans le passé principalement en raison de limitations imposées

par les méthodes de quantification minéralogique. De récents développements en analyses minéralogiques dont l'utilisation de la méthode de Rietveld combiné avec les résultats obtenus des analyses par la diffraction des rayons X permettra d'obtenir la composition modale d'un échantillon, d'améliorer la précision et de favoriser l'utilisation des calculs des essais statiques minéralogiques (Lotter, 2011, Plante *et al.*, 2012). L'approche de Rietveld sera discutée dans un chapitre ultérieur.

3.5 Méthodologie de création du modèle géoenvironnemental

La méthodologie utilisée pour la formulation de requêtes et la génération du modèle géoenvironnemental 3D est similaire à celle utilisée pour la génération de cartes de potentiel minéral présentée par Fallara *et al.*, (2006). Cette méthodologie comprend quatre étapes pour la construction d'un modèle géologique intégré 3D.

La première étape est associée à l'acquisition, la compilation et le traitement des données provenant de différentes sources d'information. La structuration de ces données favorisera par la suite leurs importations dans un logiciel SIG. Cette étape comprend aussi l'importation des informations des sondages réalisés sur le gisement, des données concernant les infrastructures minières, la topographie locale et les données et interprétations géologiques 2D. La seconde étape comprend la construction, l'interprétation et l'intégration de sections qui seront utilisées pour tracer les contacts géologiques des unités lithologiques. La troisième étape est celle de l'interprétation et de la validation des données. Cette étape a pour but de valider les surfaces géologiques et géoenvironnementales du gisement. Ces surfaces pourront être modifiées pour tenir compte de certains attributs ou contraintes additionnels. Des régions ou des volumes géologiques ou géoenvironnementaux seront par la suite créés et seront délimités par les surfaces géologiques ou géoenvironnementales. La quatrième étape correspond à celle de préparation des données pour les requêtes. À cette étape, chaque cellule du voxel se verra allouer des attributs (lithogéochimie, minéralogie normative, PN, PA, RPN, etc.). Une fois les données intégrées aux cellules du voxel, la phase de requêtes pourra débiter selon les objectifs fixés par l'entreprise.

3.5.1 Les techniques de modélisation spatiale

Lorsque l'ensemble des données a été intégré aux cellules du voxel, le SIG est prêt à utiliser ces dernières pour visualiser sous forme de représentations 3D les résultats des requêtes. Ces résultats

pourront par la suite être reproduits sous forme de plans et cartes. Deux techniques de modélisation spatiale existent pour générer et modéliser les requêtes soit les techniques empiriques basées sur les données «data-driven» et les techniques conceptuelles basées sur la connaissance «knowledge driven» (Lamothe et Harris, 2005; Harris, 2006). Les techniques empiriques sont objectives et utilisent principalement les données compilées ou acquises lors de travaux. Elles sont axées sur un concept statistique suggérant que les connaissances géologiques et/ou les probabilités d'événements environnementaux connus pour un certain type de gisement dans une région géologique spécifique peuvent s'appliquer à un autre type de gisement situé dans la même région. Certaines techniques empiriques utilisent une approche basée sur l'identification des signatures géologiques caractéristiques à une mine ou un type de dépôt pour les transposer à un secteur où de nombreux indices minéralisés sont connus, et ce, dans la même région. Les techniques conceptuelles sont beaucoup plus axées sur la connaissance et la subjectivité des experts pour donner une pondération aux différents attributs qui seront utilisés pour générer le modèle géoenvironnemental. Ces techniques permettraient un contrôle plus direct de la part des divers spécialistes sur le processus de modélisation (Harris, 2006). Les techniques empiriques ainsi que les techniques conceptuelles seront utilisées à divers degrés pour la création du modèle géoenvironnemental du projet Akasaba Ouest.

Le logiciel GOCAD® de Mira Géosciences sera utilisé pour concevoir le modèle géoenvironnemental 3D des risques associés aux stériles miniers du projet Akasaba Ouest. Ce logiciel est, entre autres, utilisé par les entreprises minières pour concevoir différents types de requêtes pour l'exploration et la recherche de futurs gisements. Ce logiciel est également conçu pour effectuer des calculs de ressources et l'évaluation des risques géotechniques.

D'autres logiciels sont également utilisés par les entreprises minières, dont ceux développés par la compagnie Datamine. Au fil des années, cette société a développé une série de logiciels et d'applications largement utilisés par le secteur minier pour la construction de modèles géologiques, les calculs de réserves et la planification des opérations de minage et le design des exploitations à ciel ouvert ou souterraines (Datamine, 2018). Les logiciels de Datamine peuvent facilement recevoir et convertir les données et requêtes qui ont été générées avec le logiciel GOCAD évitant ainsi une utilisation réciproque des deux logiciels pour notre projet.

CHAPITRE 4 PROTOCOLE DE CARACTÉRISATION GÉOENVIRONNEMENTALE

Dans le contexte mondial actuel, les entreprises minières sont de plus en plus confrontées à des mobilisations de la population cherchant à influencer les agences gouvernementales sur les impacts environnementaux et sociaux de projets miniers afin que ces compagnies respectent leur mandat de responsabilité sociale (Bensalah, Ferrand et Villeneuve, 2015). Face à ces mouvements, les différents paliers gouvernementaux exigent des entreprises de réaliser un plus grand nombre d'études environnementales pour évaluer tous les risques associés à l'exploitation de leur gisement.

Les travaux de Brough *et al.*, (2013) et de Dyanti *et al.*, (2013) présentent, sous forme d'un schéma des procédés, une approche de caractérisation environnementale basée des techniques utilisées en minéralogie des procédés métallurgiques pour évaluer les risques associés à la disposition et à la gestion environnementale de stériles miniers. Ce type d'approche est d'autant plus efficace lorsque les résultats d'études minéralogiques sont couplés aux résultats d'analyses de caractérisation géochimiques ainsi qu'à des essais statiques et cinétiques (Dold et Weibel, 2013). Les différentes étapes du protocole de caractérisation géoenvironnementale proposé sont présentées à la figure 4-1 et s'appuient sur des exemples d'approches présentées par différents auteurs tels que Parbhakar-Fox, Edraki, Walters et Bradshaw (2011), Brough *et al.*, (2013), Dyanti *et al.*, (2013) ainsi que Parbhakar-Fox *et al.*, (2013b). Les étapes et les travaux proposés par le protocole de caractérisation géoenvironnementale (Figure 4-1) présentent certaines similitudes avec ceux proposés par ces auteurs qui débutent cependant leurs protocoles aux stades de préfaisabilité ou de faisabilité d'un projet minier.

Comme nous le verrons dans les prochaines sections de ce chapitre, les étapes du protocole de caractérisation géoenvironnemental représentent, dans une certaine mesure, une combinaison des protocoles que nous venons de discuter. L'une des contributions les plus importantes du protocole proposé réside dans son concept d'application qui est construit selon un ordre séquentiel et progressif des différentes phases d'évolution d'un projet minier. Pour notre projet de recherche, nous proposons de débiter sa mise en application conjointement avec le début des travaux qui seront réalisés lors de la première phase d'exploration d'une propriété et de le poursuivre jusqu'au stade de l'étude de faisabilité d'un projet minier (Québec MERN, 2015).

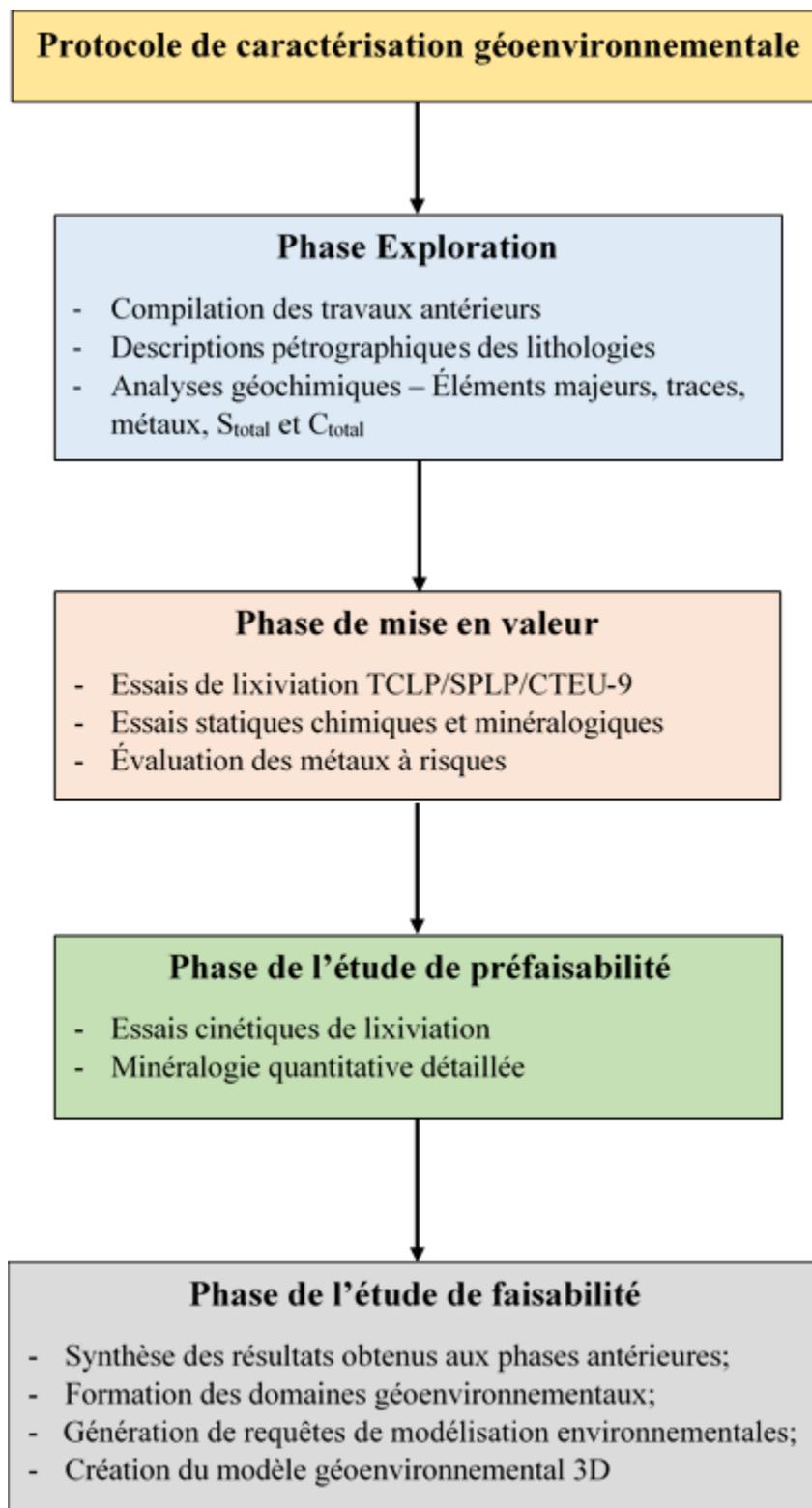


Figure 4-1 : Étapes du protocole de caractérisation géoenvironnementale

Une autre contribution importante du protocole est qu'il place initialement une importante emphase sur l'optimisation des observations et l'utilisation des données pétrographiques, géochimiques et minéralogiques qui sont obtenues lors des travaux d'exploration. L'interprétation des observations et des données aura pour objectifs non seulement d'identifier et définir le potentiel économique d'un gisement, mais également de réaliser une caractérisation environnementale préliminaire de ce dernier. Bien que des regroupements de lithologies sont proposés lors de la première étape des protocoles de Brought *et al.*, (2013) et de Parbhakar-Fox *et al.*, (2011), le protocole de caractérisation géoenvironnementale propose initialement une caractérisation géochimique, minéralogique et environnementale préliminaire de chacune des lithologies qui composeront le minerai et les stériles. Les phases 2 et 3 du protocole proposé sont semblables à celles des protocoles des auteurs mentionnés précédemment et comportent des essais statiques chimiques et minéralogiques ainsi que des essais cinétiques. À ces essais sont combinés les résultats des travaux de minéralogie qualitative et quantitative. Le protocole de caractérisation géoenvironnementale propose la notion de domaine géoenvironnemental qui comprend, entre autres, les paramètres utilisés pour la caractérisation d'une « geowaste unit ». Le protocole comprend aussi la formation de groupes basée sur les textures auxquels s'ajoutent les résultats des essais statiques et cinétiques ainsi que ceux des études minéralogiques exhaustives. La définition d'un domaine géoenvironnemental inclura ainsi l'ensemble des paramètres déterminés à chaque phase du protocole de caractérisation géoenvironnementale. Les principaux objectifs de l'utilisation des domaines géoenvironnementaux seront axés sur l'évaluation du degré de risque environnemental dans l'optique de faciliter la gestion des rejets miniers, en particulier les stériles. Les différents domaines pourront par la suite être intégrés dans le modèle tridimensionnel de gestion des opérations minières.

L'utilisation du protocole de caractérisation géoenvironnemental ne sera pas uniquement axée sur la caractérisation des échantillons susceptibles de générer un drainage minier acide en éliminant, après chaque étape du protocole, les échantillons considérés à risque nul de drainage minier acide. À chacune des phases de développement d'un projet minier, le protocole mettra l'emphase sur la caractérisation pétrographique, géochimique, minéralogique et environnementale d'échantillons représentatifs de chacune des lithologies. Cette approche permettra non seulement d'évaluer les risques et effets des échantillons susceptibles de générer un drainage minier acide, mais également ceux ayant le potentiel de générer un drainage neutre contaminé.

4.1 Phase Exploration : Caractérisation des unités lithologiques

La première étape du protocole de caractérisation géoenvironnementale (Figure 4-2) intervient lors de la découverte d'un corps minéralisé et des premiers calculs de ressources minérales inférées d'un projet minier. Cette étape est essentielle pour l'élaboration de la caractérisation géoenvironnementale puisqu'elle met initialement l'emphase sur une compilation exhaustive des données recueillies lors des travaux d'exploration de surface. Ces données se subdivisent en deux catégories :

- a) Les données d'analyses géochimiques en éléments majeurs et traces, en métaux ainsi que tous les autres types d'analyses incluant les concentrations en carbone total inorganique (C_{total}) et en soufre total (S_{total}). Les données géochimiques sont généralement documentées dans les journaux de sondages ainsi que les rapports d'exploration et sont conservées dans les bases de données informatisées des entreprises. Les bases de données des agences gouvernementales, dont le système d'information géominière (Sigéom) du Gouvernement du Québec et les travaux de recherche universitaire constituent également d'excellentes sources de données.
- b) Les données pétrographiques provenant d'observation macroscopique sur des échantillons et microscopique avec des lames minces et des sections polies de minerai et des roches stériles qui sont documentées dans les journaux de sondages. Ces données sont disponibles dans les rapports thématiques et les rapports de travaux d'exploration. Ces rapports incluent les descriptions pétrographiques des lithologies, des textures, des morphologies et des proportions de minéraux primaires et secondaires qui sont issues du métamorphisme et/ou de l'altération hydrothermale.

Lors de la compilation des données, une attention particulière doit être portée au contrôle de l'acquisition et de la qualité des données (QAQC) appliqué par les entreprises et les laboratoires. Cette évaluation de la qualité des données est essentielle pour la suite des travaux de caractérisation, car elle évitera de faire des interprétations erronées à partir de données de qualité douteuse. Il est suggéré de réaliser des travaux supplémentaires dans les cas où des données seraient manquantes ou que des analyses complémentaires seraient souhaitables pour justifier les interprétations. Généralement, ces travaux consistent en des observations macroscopiques et microscopiques sur des échantillons de minerai et/ou de stérile ainsi que des analyses géochimiques.

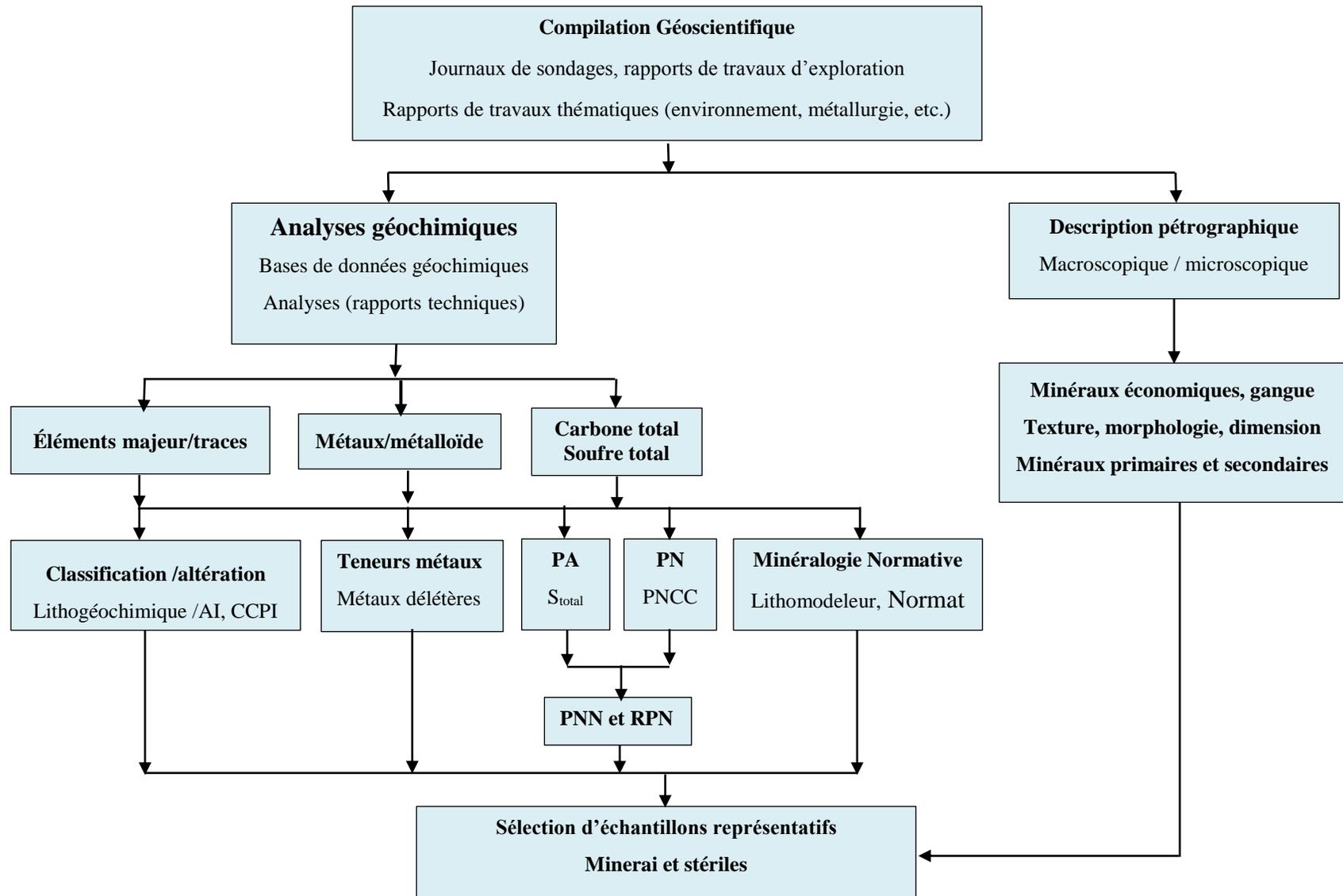


Figure 4-2: Étapes du protocole de caractérisation géoenvironnementale - Phase Exploration

Lorsque l'acquisition des informations sera complétée, les données seront analysées et traitées pour effectuer une première classification et discrimination des différentes unités lithologiques du gisement en tenant compte de paramètres géochimiques et minéralogiques. Certaines de ces unités formeront les stériles miniers. Par la suite, un certain nombre d'échantillons représentatifs des différentes unités de minerais et de stériles miniers sera sélectionné pour être soumis à des essais statiques comportant la seconde étape du protocole de caractérisation géoenvironnementale.

4.1.1 Caractérisation géochimique

Les résultats des diverses analyses géochimiques compilés et/ou analysés (Tableau 4.1) permettent : a) de discriminer et classer les différentes lithologies encaissantes du gisement, b) de calculer les minéraux normatifs primaires et secondaires de chaque échantillon et d'identifier lesquels seront susceptibles d'agir comme minéral potentiellement neutralisant ou générateur d'acide, c) d'identifier les métaux et métalloïdes délétères qui pourraient représenter un risque pour l'environnement et d) de calculer certains paramètres environnementaux.

4.1.1.1 Classification et discrimination lithogéochimique

La classification et la discrimination lithogéochimique des lithologies hôtes du gisement Akasaba Ouest sont basées sur les analyses de 279 échantillons de roches. Pour éviter d'utiliser une nomenclature axée sur l'observation visuelle et l'interprétation subjective des lithologies, il est important de nommer les unités lithologiques sur la base de paramètres chimiques fiables, reconnus et utilisés dans la littérature scientifique (Winchester et Floyd, 1977; Jenner, 1996; Kerrich et Wyman, 1996). Il est proposé d'établir la nomenclature et la classification des unités lithologiques sur la base des concentrations et des rapports d'éléments majeurs dont les concentrations sont généralement $\geq 0,1$ % (ex. TiO_2 , Al_2O_3 , SiO_2). Les éléments présents en traces ($< 0,1$ %) dans les roches et dont les concentrations sont exprimées en ppm (ex. Zr, Y et Nb) sont également utilisés. La classification lithogéochimique utilise les éléments suivants soit le TiO_2 , Al_2O_3 , Zr, Y et Nb (Annexe A). Ces éléments sont considérés comme très peu, voire même immobiles, sous l'effet du métamorphisme et des processus d'altération hydrothermale reflétant ainsi la signature chimique primitive des roches (Kerrich et Wyman, 1996).

L'évaluation du risque des résidus associé aux métaux et présenté à la section 4.2.1 sera particulièrement importante pour les lithologies qui composeront le stérile minier. Certains

minéraux dont les sulfures et les carbonates seront susceptibles d'être oxydés ou dissous selon les conditions climatiques existantes en surface, et ce même s'ils sont présents qu'en faible proportion dans les stériles. Ces minéraux peuvent contenir une certaine concentration de métaux délétères qui peuvent être éventuellement lixiviés et se retrouver dans les eaux de drainage minier. Des métaux peuvent également être adsorbés à la surface de certains minéraux, dont les phyllosilicates (chlorites et séricites). Ces minéraux peuvent contenir une certaine concentration de métaux délétères qui peuvent être éventuellement lixiviés et se retrouver dans les eaux de drainage minier.

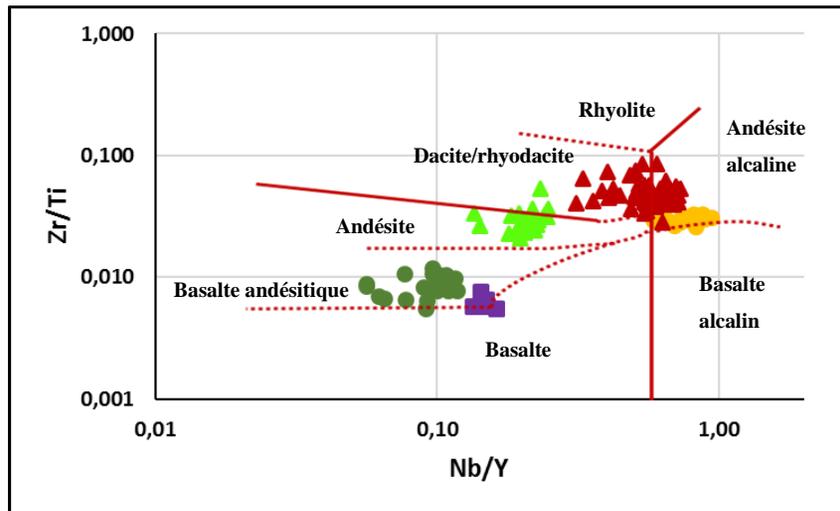
Lors des travaux d'exploration et d'évaluation des ressources d'un gisement, plusieurs entreprises ne font analyser que le ou les métaux qui représentent un intérêt économique pour le projet (ex. Au, Cu, Zn, Ni). Dans bien des cas, ces métaux ne sont pas analysés pour les lithologies qui composeront éventuellement les stériles miniers et ce, même s'ils contiennent une faible quantité de sulfures ($\leq 2\%$). Pour le protocole de caractérisation géoenvironnemental, il est recommandé d'inclure des analyses pour déterminer les concentrations en divers métaux tant économiques que potentiellement délétères pour les échantillons qui seront utilisés pour la classification lithogéochimique et la discrimination des lithologies. L'analyse de certains métaux dont As, Ba, B, Cd, Pb, Hg, Cr, Sb et Se sera pertinente puisqu'ils sont reconnus comme étant à risque élevés selon leurs concentrations dans les sols et les eaux de surfaces (Plante *et al.*, 2010; Québec MDDEP, 2012). Les résultats des analyses en éléments majeurs et traces réalisés sur les lithologies hôtes et encaissantes du gisement Akasaba Ouest ont permis d'identifier neuf unités lithogéochimiques. Le diagramme de Winchester et Floyd (1977) sera utilisé pour la nomenclature des unités de volcanites et de volcanoclastites (Figures 4-3A et B).

Les basaltes andésitiques (Unité 1)

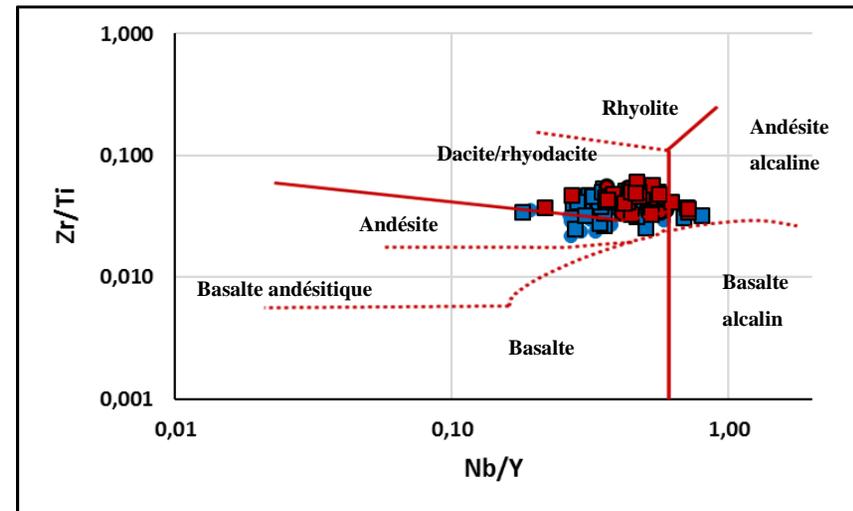
L'unité 1 comprend 22 échantillons de volcanites de composition basalte andésitique (Figure 4-3A). Huit de ces échantillons proviennent de la série AKA14-ENV comprenant 5 échantillons (AKA14-ENV-015, 021, 059, 062 et 070) de stériles et 3 échantillons (AKA14-ENV-011, 012 et 013) de minerai (Annexe A). Ces échantillons ont été nommés basalte (V3B) dans les journaux de sondages (Tableau 4.2). Les basaltes andésitiques sont caractérisés par des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ compris entre 14 et 24 et Ti/Zr allant de 85 à 183 (Figures 4-3A et 4-4A; Tableau 4.1).

Tableau 4.1: Paramètres géochimiques des unités lithologiques - Akasaba Ouest

Éléments Rapports	Unité 1	Unité 2	Unité 3	Unité 4A	Unité 4A	Unité 4B	Unité 5A	Unité 5A	Unité 5B
	Volcanite	Volcanite	Volcanite	Volcanite	Intrusion	Volcanite	Volcanite	Intrusion	Volcanite
	n = 22	n = 6	n = 24	n = 55	n = 50	n = 15	n = 16	n = 32	n = 63
Al ₂ O ₃ /TiO ₂	14 - 24	5,4 - 6,2	34 - 45	18 - 42	23 - 48	27 - 34	43 - 69	41 - 64	38 - 96
Ti/Zr	85 - 183	133 - 183	19 - 47	19 - 46	18 - 39	30 - 39	18 - 31	16 - 30	12 - 35
Zr/Ti	6 - 12 E ⁻³	6 - 8 E ⁻³	21 - 36 E ⁻³	22 - 52 E ⁻³	25 - 54 E ⁻³	26 - 34 E ⁻³	33 - 56 E ⁻³	33 - 61 E ⁻³	28 - 85 E ⁻³
Zr/Y	1,3 - 3,3	2,4 - 3,5	4,1 - 6,8	5,3 - 14,3	5,0 - 12,3	14,0 - 22,0	7,9 - 14,5	8,2 - 13,7	15,3 - 25,3
Nb/Y	0,06 - 0,12	0,13 - 0,16	0,14 - 0,25	0,27 - 0,58	0,18 - 0,80	0,58 - 0,95	0,36 - 0,59	0,22 - 0,71	0,31 - 0,73
Al ₂ O ₃ (%)	12,7 - 16,5	12,7 - 13,6	13,2 - 19,8	12,4 - 18,4	6,36 - 16,9	16,2 - 17,1	12,1 - 18,8	13,6 - 20,7	12,0 - 19,3
TiO ₂ (%)	0,59 - 1,00	2,10 - 2,38	0,32 - 0,58	0,32 - 1,00	0,17 - 0,59	0,49 - 0,63	0,24 - 0,38	0,25 - 0,42	0,18 - 0,43
Zr (ppm)	23 - 59	73 - 93	62 - 115	65 - 173	39 - 143	86 - 117	86 - 117	54 - 124	70 - 108
Y (ppm)	11 - 26	23 - 36	14 - 19	7 - 22	4 - 18	5 - 7	4 - 13	7 - 16	3 - 7
Nb (ppm)	1 - 3	4 - 5	2 - 4	3 - 7	3 - 7	4 - 5	2 - 5	2 - 5	1 - 4
Cu (ppm)	14 - 6370	165 - 4070	60 - 1283	1 - 9610	52 - 15750	145 - 3289	41 - 12850	24 - 7260	11 - 5070
Mo (ppm)	0,5 - 573	6 - 56	1 - 100	0,5 - 518	0,5 - 215	0,5 - 285	0,5 - 59	0,5 - 338	0,5 - 55
Mn (ppm)	897 - 1715	1202-1215	263 - 566	139 - 468	74 - 844	131 - 388	130 - 281	130 - 281	64 - 571
Ba (ppm)	16 - 122	15 - 213	59 - 3200	70 - 1750	151 - 1301	134 - 539	255 - 1230	165 - 2150	119 - 660
Ni (ppm)	83 - 286	48 - 64	3 - 271	3 - 240	9 - 322	18 - 191	10 - 203	8 - 91	5 - 308
Co (ppm)	21 - 63	32 - 57	9 - 40	8 - 47	5 - 83	10 - 24	6 - 16	7 - 27	3 - 20
Cr (ppm)	280 - 738	10 - 77	10 - 664	10 - 562	10 - 778	20 - 610	10 - 600	30 - 263	10 - 864



A) Unités 1, 2, 3, 4B et 5B



B) Unités 4A et 5A

Figures 4-3 : Classification lithogéochimique des lithologies d'Akasaba Ouest. Basaltes andésitiques, unité 1 (●), basaltes ferro titanifères, unité 2 (■), andésites, unité 3 (▲), andésites alcalines type #1, unité 4B (●), andésites alcalines, type #2 unité 5B (▲), dacites et tufs dacitiques type #1, unité 4A (●), intrusion dacitiques et QFP type #1, unité 4A (■), dacite et tufs dacitiques type #2, unité 5A (●), intrusion dacitique type #2, unité 5A (■). (Tirée de Winchester et Floyd, 1977)

Tableau 4.2 : Comparaison entre les nomenclatures utilisées lors des travaux

Unité	Lithogéochimie	Agnico Eagle, Golder et Ass.
1	Basalte andésitique	Basalte
2	Basalte ferro titanifère	Basalte
3	Andésite	Basalte, gabbro
4A Volcanites	Dacite, tuf dacitique type #1	Basalte, andésite, dacite, tuf felsique Roche intrusive mafique
4A Intrusions	Intrusion dacitique type #1	Intrusion intermédiaire, QFP diorite quartzifère
4B	Andésite alcaline type #1	Dacite #1; dacite #2, #3, andésite #2, tuf
5A Volcanites	Dacite, tuf dacitique type #2	Dacite #2, Andésite #2, tuf
5A Intrusions	Intrusion dacitique type #2	Dacite #2, QFP, diorite quartzifère, Intrusion intermédiaire
5B	Andésite alcaline type #2	Dacite #1, #2 et #3, tuf felsique

Les ratios Zr/Y allant de 1,3 à 3,3 (Figure 4-5A) suggèrent que ces volcanites sont d'affinité tholéiitique (Barrett et MacLean, 1994). Les teneurs en cuivre (14 à 6370 ppm) et en molybdène (0,5 à 573 ppm) des échantillons sont non-économiques à localement subéconomiques (Cu). Les teneurs en métaux délétères tels que le nickel (83 à 286 ppm), le cobalt (21 à 63 ppm) et le chrome (280 à 738 ppm) ainsi que les teneurs en cuivre et molybdènes sont généralement supérieures aux teneurs de fond dans la province géologique du Supérieur qui sont respectivement de 65 ppm (Ni), 30 ppm (Co) et 100 ppm (Cr total) (Beaulieu, 2016). Les teneurs en plomb (≤ 5 ppm), le cadmium ($< 0,7$ ppm) et l'arsenic (≤ 14 ppm) sont négligeables (Tableau 4.1; Annexe B).

Les basaltes ferro-titanifères (Unité 2)

L'unité 2 comprend 6 échantillons dont les ratios Zr/Ti et Nb/Y se projettent dans le champ des basaltes (Figure 4-3A; Tableau 4.1). De plus, les teneurs élevées en Fe et Ti suggèrent qu'il s'agit de basaltes ferro-titanifères (Annexe A). Deux échantillons de basaltes ferro-titanifères (AKA14-ENV-041 et 061) classés dans les stériles (Annexe A) ont été nommés basaltes (Tableau 4.2).

Les basaltes ferro-titanifères sont caractérisés par des rapports Al_2O_3/TiO_2 et Ti/Zr respectivement de 5,4 à 6,2 et de 133 à 183 ainsi que des rapports Zr/Y inférieurs à 3,5 suggérant une affinité tholéiitique (Figures 4-3A, 4-4 et 4-5). Leurs teneurs en cuivre (165 à 4070 ppm) et en molybdène (6 à 56 ppm) sont considérées non à subéconomiques pour le cuivre et le molybdène. Les teneurs

en métaux délétères pour le nickel (48 à 64 ppm), le cobalt (32 à 57 ppm), le chrome (10 à 77 ppm), l'arsenic (2,5 à 12 ppm) sont près des teneurs de fonds de la province du Supérieur alors que les teneurs en plomb et cadmium sont négligeables (Annexe B). La teneur de fond de l'arsenic étant de 5 ppm (Beaulieu, 2016).

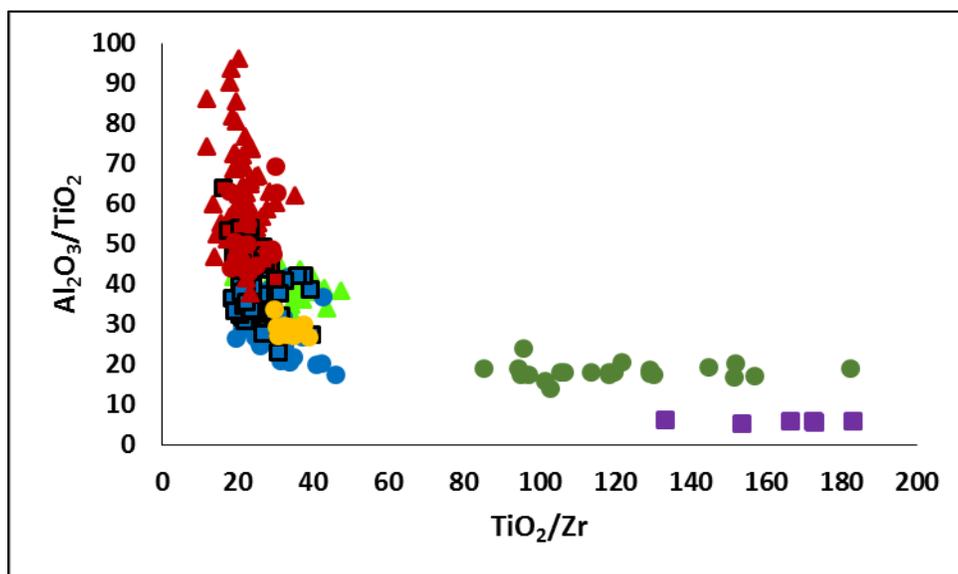


Figure 4-4 : Diagramme $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ vs Ti/Zr de discrimination lithogéochimique.

(Légende des symboles: voir Figures 4-3 A et B)

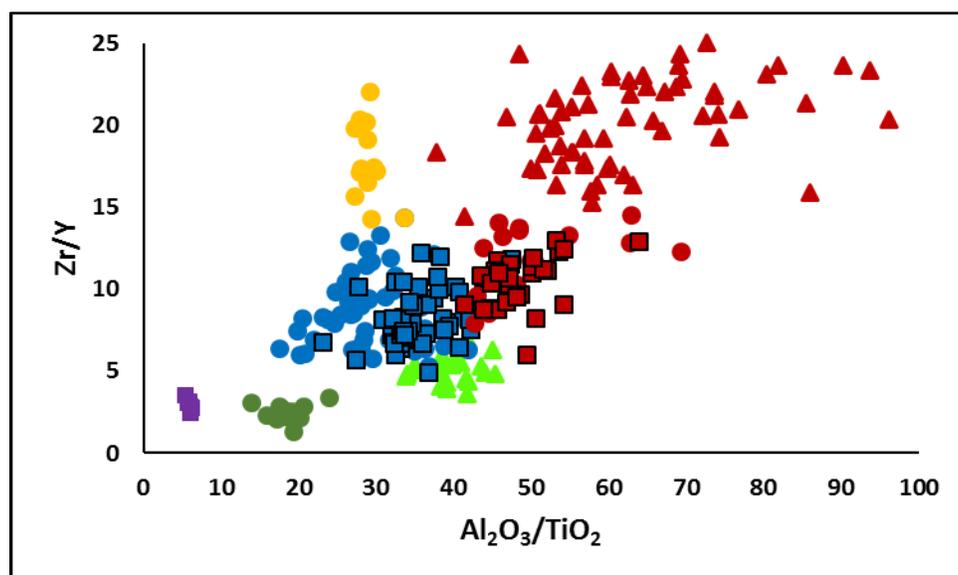


Figure 4-5 : Diagrammes de discrimination lithogéochimique Zr/Y vs $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$

(Légende des symboles: voir Figures 4-3 A et B)

Les andésites (Unité 3)

L'unité 3 comprend 24 échantillons provenant de la base de données de lithogéochimie de l'entreprise. Ces échantillons sont caractérisés par des rapports Zr/Ti et Nb/Y qui se projettent dans le champ des andésites (Figure 4-3A; Tableau 4.1; Annexe A). Onze de ces échantillons (AKA14-ENV-016, 017, 018, 019, 020, 022, 042, 043, 044, 045 et 063) ont été classés dans les stériles (Annexe A) ont été nommés basaltes ou gabbro dans les journaux de sondages (Tableau 4.2). Les andésites sont caractérisées par des rapports Al_2O_3/TiO_2 et Ti/Zr allant respectivement de 34 à 45 et de 19 à 47 (Figure 4-4). Les ratios Zr/Y (4,1 à 6,8) suggèrent une affinité transitionnelle (Figure 4-5, Barrett et MacLean, 1994).

Tous les échantillons analysés possèdent des teneurs non économiques en cuivre (60 – 1283 ppm) et molybdène (1 – 100 ppm). À l'exception de 3 échantillons (AKA14-ENV-042, 043 et 044), les concentrations en éléments délétères tels le nickel (≤ 16 ppm), le cobalt (≤ 40 ppm), le chrome (≤ 92 ppm), le Pb (≤ 14 ppm), l'arsenic (11 ppm) et le cadmium ($\leq 0,25$ ppm) sont semblables ou inférieures aux teneurs de fonds de la province géologique du Supérieur (Annexe B). La teneur de fond pour le plomb étant de 40 ppm et 0,9 ppm pour le cadmium (Beaulieu, 2016).

Les dacites, tufs dacitiques, intrusions dacitiques et QFP de type #1 (Unité 4A)

L'unité 4A comprend un total de 104 échantillons prélevés sur le site Akasaba Ouest. De ces échantillons, 54 correspondent à des roches volcaniques nommées basalte (V3B-4), andésite (V2J-1 et V2J-2), dacite (V1D-3) et tuf felsique (V9a) dans les journaux de sondages. Un total de 12 échantillons de volcanites comprenant 7 échantillons (AKA14-ENV-004, 014, 023, 024, 025, 034, 036 et 037) de minerai et 5 échantillons (AKA14-ENV-030, 049, 050, 064) de stériles proviennent de l'étude de caractérisation géochimique de 2014 (Annexe A; Golder *et Ass.*, 2015).

Dans ce rapport, ces échantillons ont majoritairement été nommés dacite #3 (V1D-3) pour le minerai et roches intrusives mafiques (I3), dacite 2 (V1D-2) et tuf (V9a) pour les stériles. Cinquante (50) échantillons ont été décrits comme étant d'origine intrusive et ont été initialement nommés intrusion intermédiaire 1 (I2-1) et 2 QFP (I2-2 QFP) dans les journaux de sondages. Golder *et Ass.* (2015) utilise majoritairement le terme diorite quartzifère (I2I) pour nommer ces roches. Dix échantillons utilisés pour l'étude de caractérisation géochimique en 2014 (AKA14-ENV-006, 007, 008, 009, 010, 038, 039, 040, 056 et 058) correspondent à des échantillons de minerai alors que

trois échantillons (AKA14-ENV-032, 033 et 055) sont des échantillons de stériles. Les volcanites et les roches intrusives correspondent à l'une des lithologies encaissantes de la minéralisation aurifère et cuprifère qui sera exploitée lors des opérations.

Les valeurs des rapports Zr/Ti vs Nb/Y des échantillons de volcanites et d'intrusions de l'unité 4A se projettent dans le champ des dacites (Figure 4-3B). Ces dacites sont également caractérisées par des rapports Al_2O_3/TiO_2 allant de 18 à 42 et des rapports Ti/Zr variant respectivement 19 à 46 (Figure 4-4; Tableau 4.1; Annexe A). Les ratios Zr/Y (Figure 4-5) s'échelonnent de 5,3 à 14,3 et suggèrent que les volcanites et les intrusions possèdent une affinité allant de transitionnelle à calco-alcaline (Barrett et MacLean, 1994). Nous proposons de nommer dacite et tufs dacitiques de l'unité 4A ou de type #1 les échantillons respectivement identifiés comme des volcanites et volcanoclastites. Nous nommerons intrusions dacitiques l'unité 4A ou de type #1 les échantillons identifiés comme roche de nature intrusive.

Selon les journaux de sondages, plusieurs échantillons d'intrusions dacitiques sont à texture porphyrique. Une description détaillée de leur minéralogie sera présentée à la section 4.1.2. Les échantillons de dacites, tufs dacitiques et d'intrusions dacitiques de type #1 possèdent des teneurs économiques en Cu de 1 à 18000 ppm (1,80 %) alors que les teneurs en molybdène se situent entre 0,5 à 518 ppm (Annexe A). Plus de 20 % des échantillons ont des teneurs en chrome (10 à 778 ppm) et en nickel (3 à 240 ppm) qui sont supérieures aux teneurs de fond de la province du Supérieur. Les teneurs pour le cobalt (8 à 52 ppm), le plomb (≤ 26 ppm), l'arsenic (≤ 11 ppm) et le cadmium sont faibles et généralement sous la limite de détection (Annexe B).

Les andésites alcalines et tufs andésitiques alcalins de type #1 (Unité 4B)

L'unité 4B a été définie à l'aide de 15 échantillons dont la composition géochimique est similaire à celle d'une andésite alcaline aussi nommée trachyandésite (Figure 4-3A). Nous proposons de nommer ces roches andésite alcaline de l'unité 4B ou de type #1 pour nos travaux. Cette lithologie est généralement nommée dacite #1 (V1D-1), parfois andésite #2 (V2J-2) et dacite #3 (V1D-3) dans les journaux de sondages (Tableau 4.2). Les échantillons d'andésite alcaline utilisés pour nos travaux comprennent trois échantillons (AKA14-ENV-031, 066 et 067) de stériles et deux échantillons (AKA14-ENV-068 et 069) de minerai (Annexe A). Ces échantillons ont été nommés Dacite 2, Dacite 3 et tuf dans l'étude de caractérisation géochimique statique et cinétique (Golder, 2015).

Bien que les rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ et Ti/Zr sont semblables à ceux des dacites et intrusions dacitiques de type #1 de l'unité 4A (Figure 4-4; Tableau 4.1), les andésites alcalines diffèrent de ces dernières lithologies par un rapport Zr/Y compris entre 14 et 22 (Figure 4-5). Ces valeurs suggèrent que les andésites alcalines possèdent une affinité calco-alcaline. Comparativement aux échantillons de l'unité 4A, la projection des échantillons vers le champ des andésites alcalines et les valeurs élevées des rapports Zr/Y seraient associées à des concentrations en Y plus faibles des échantillons de l'unité 4B (Tableau 4.1; Annexe A). Les échantillons analysés possèdent des teneurs non économiques à subéconomiques en cuivre (145 à 3289 ppm) et les teneurs en molybdène varient de 0,5 à 285 ppm. Les teneurs en métaux délétères incluant le nickel, de cobalt, le chrome, le plomb, l'arsenic et le cadmium sont dans l'ensemble inférieures à la teneur de fond de la province du Supérieur (Annexe B).

Les dacites, tufs dacitiques et intrusions dacitiques de type #2 (Unité 5A)

L'unité 5A comprend 48 échantillons de volcanites et d'intrusions dont les concentrations en TiO_2 , Zr, Y et Nb ainsi que les rapports Zr/Ti , Nb/Y , Ti/Zr et Zr/Y sont similaires à celles des dacites et des intrusions dacitiques de l'unité 4A (Figures 4-3B; 4-4; 4-5; Tableau 4.1). Cependant, les dacites et intrusions dacitiques de l'unité 5A sont caractérisées par des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ allant 41 à 69 (Annexe A). Ces rapports sont supérieurs à ceux des lithologies de l'unité 4A qui sont compris entre 18 à 48. Comme les concentrations en TiO_2 des lithologies des deux unités sont relativement semblables, la discrimination entre les deux unités serait associée à la différence des concentrations en Al_2O_3 . Cette différence pourrait être associée, entre autres, à une quantité plus importante de plagioclases pour les lithologies de l'unité 5A. Ces lithologies seront nommées dacites et les intrusions dacite de l'unité 5A ou type #2 et caractérisées par une affinité calco-alcaline. Ces dacites ont été nommées dacite #2 (V1D-2), andésite #2 (V2J-2) et tuf felsique (V9a) dans les journaux de sondages (Tableau 4.2).

Un total de 9 échantillons de dacites et d'intrusions dacitiques de l'unité 5A ou de type 2 proviennent de l'étude de caractérisation géochimique réalisée en 2014. Sept de ces échantillons (AKA14-ENV-003, 060, 078, 079, 081, 083 et 086) feront partie des stériles (Annexe A) et ont été nommés dacite #2 (V1D-2), QFP et tuf dans les journaux de sondages. Les deux autres échantillons (AKA14-ENV-005 et 057) sont représentatifs du minerai et ont été nommés intrusion intermédiaire (I2) ou diorite quartzifère (I2I). Les échantillons analysés possèdent des teneurs de non

économiques à économique en cuivre allant de 24 – 12850 ppm (1,29 %) et les teneurs en molybdène sont inférieures à 338 ppm (Annexe A). Les concentrations en plomb, le cadmium, l'arsenic ainsi que la majorité des teneurs en nickel et cobalt sont inférieures aux teneurs de fond de la province du Supérieur. Cependant, environ 40% des teneurs en chrome (10 à 600 ppm) sont supérieures à la teneur de fond de 100 ppm (Annexe B).

Les andésites alcalines et tufs andésitiques alcalins de type #2 (Unité 5B)

L'unité 5B contient un total de 63 échantillons qui possèdent des concentrations en TiO₂, Zr, Y et Nb ainsi que les rapports Zr/Ti, Nb/Y, Ti/Zr et Zr/Y similaires à celles des andésites alcalines de l'unité 4B (Figures 4-3A, 4-4 et 4-5; Tableau 4.1). Cependant, les rapports Al₂O₃/TiO₂ de 38 à 96 sont plutôt semblables à ceux des dacites de type #2 de l'unité 5A. Cette ambivalence nous amène à séparer les volcanites de l'unité 5B de celles des unités 4B et 5A et à nommer ces volcanites et volcanoclastites andésites alcalines ou tufs andésitiques alcalins de l'unité 5B ou de type #2. Tous les échantillons ont été nommés dacite (V1D) ou tuf felsique (V9a) dans les journaux de sondages (Tableau 4.2).

Nous considérons que les andésites et tufs alcalins de type #2 seront principalement associés aux stériles. Cet argument est basé sur les échantillons choisis pour l'étude de caractérisation géochimique (Golder *et Ass.* 2015) dans laquelle sur les 21 échantillons sélectionnés de l'unité 5B, un total de 18 (AKA14-ENV-001, 002, 029, 046, 047, 048, 051, 052, 053, 054, 065, 072, 073, 074, 075, 076, 077 et 080) sont des échantillons classés stériles et 3 (AKA14-ENV-026, 027 et 028) sont des échantillons classés minéral (Annexe A). Les échantillons de stériles ont été nommés dacite 1 (V1D-1), dacite 2 (V1D-2) et tuf (V9a) alors que les échantillons de minéral ont été nommés dacite 3 (V1D-3) dans le rapport de caractérisation géochimique statique et cinétique (Golder, 2015). Les teneurs en cuivre et en molybdène sont généralement non-économiques. Les concentrations en plomb, cobalt, cadmium, arsenic et 90 % des teneurs en nickel et chrome sont inférieures aux teneurs de fond de la province géologique du Supérieur (Annexe B).

4.1.1.2 Caractérisation géochimique des faciès d'altération hydrothermale

Plusieurs travaux concernant la caractérisation géochimique des processus d'altération hydrothermale sont disponibles dans la littérature et la plupart de ces travaux se concentrent surtout à présenter diverses méthodes de calculs de bilan de masse (Leshner, Goodwin, Campbell et Gorton,

1986; MacLean, 1990; Barrett et MacLean, 1994). Les bilans de masse permettent d'évaluer les gains ou les pertes d'éléments chimiques majeurs d'un ensemble d'échantillons altérés d'une lithologie par rapport à un échantillon précurseur non altéré et considéré représentatif de cette même lithologie. Ces gains ou pertes peuvent mener à déduire de manière subjective les phases minérales secondaires susceptibles d'être présentes dans un échantillon.

La caractérisation du type et de l'intensité de l'altération hydrothermale peuvent être calculées au moyen de divers indices d'altération utilisant également les éléments chimiques majeurs d'un échantillon. L'un des indices fréquemment utilisés en exploration minière est l'indice d'altération Ishikawa (AI) qui permet de quantifier l'intensité des altérations de type séricitisation ou chloritisation des lithologies encaissantes de gisements de sulfures massifs volcanogènes (Ishikawa, Sawaguchi, Iwaya et Horiuchi, 1976). Le calcul de l'indice Ishikawa utilise le K_2O , le CaO , le Na_2O et le MgO selon l'équation 4.1 :

$$AI = 100 \times \frac{K_2O + MgO}{K_2O + MgO + Na_2O + CaO} \quad (\text{équation 4.1})$$

Les travaux de Large, Gemmel et Paulick (2001) mentionnent que les valeurs obtenues de l'indice AI varient entre 20 et 60 pour les lithologies non altérées et entre 50 et 100 pour celles modérément à fortement séricitisées et/ou chloritisées.

Un autre indice d'altération utilisé pour caractériser les altérations hydrothermales est l'indice chlorite-carbonate-pyrite (CCPI) développé par Large *et al.*, (2001). L'indice CCPI est utilisé pour caractériser l'intensité des pertes en Na_2O et K_2O couplées aux gains en MgO et FeO . Les pertes en éléments alcalins sont associées au remplacement du plagioclase (ex. albite), du feldspath potassique et/ou de séricite par de la chlorite (gains). Ces processus de remplacements minéralogiques sont typiques des processus de chloritisation des lithologies hôtes de gisements de sulfures massifs. En plus de mesurer l'intensité de la chloritisation, l'indice CCPI est également influencé par la présence d'une altération caractérisée par du carbonate de fer et/ou magnésium (ankérite, dolomite), par la présence de pyrite, de magnétite et d'hématite (Large *et al.*, 2001). L'indice CCPI est calculé selon l'équation 4.2 :

$$CCPI = 100 \times \left(\frac{MgO + FeO + Fe_2O_3}{MgO + FeO + Fe_2O_3 + Na_2O + K_2O} \right) \quad (\text{équation 4.2})$$

Les travaux de Large *et al.*, (2001) suggèrent de combiner les indices AI et CCPI sous la forme d'une représentation graphique appelée « Box Plot ». Cette représentation a pour but d'identifier les différents assemblages minéralogiques et vecteurs d'altération hydrothermale ainsi que de faire le lien entre la composition lithogéochimique et la composition minéralogique d'un échantillon. Les échantillons considérés les moins altérés se projetteraient, selon le type de lithologie (ex. basalte, andésite, dacite et rhyolite) dans les cases présentées au centre du diagramme (Figure 4-6). L'un des avantages de l'utilisation du diagramme d'altération « Box Plot » est qu'il permet d'obtenir des informations sur les proportions et assemblages relatifs des principaux minéraux d'altération à partir des analyses lithogéochimiques et ce, à très faible coût pour une entreprise minière. Les résultats des ensembles minéralogiques obtenus du diagramme sont à tout le plus semi-quantitatif et devront cependant être corrélés avec les données des analyses lithogéochimiques. Cette corrélation aidera confirmer ou infirmer la présence des différentes phases minérales identifiées ainsi qu'à évaluer, de manière subjective, l'intensité des différents types d'altérations. Les résultats obtenus ne remplacent pas ceux calculés à l'aide des logiciels de calculs de minéraux primaires et secondaires normatifs tels Lithomodeleur (Trépanier, Mathieu et Daigneault, 2015) ou Normat (Piché et Jébrak, 2014) ainsi que ceux obtenus des spectres de DRX une fois réconciliés avec les analyses géochimiques.

L'une des principales limitations de l'utilisation du diagramme « Box Plot » est associée au fait qu'aucun des deux indices n'inclut dans leurs calculs le SiO_2 ce qui soulève le problème du calcul de la proportion de quartz normatif et de l'identification d'une altération de type silicification (Large *et al.*, 2001). De plus, l'utilisation de ce diagramme est plus efficace pour étudier les altérations des lithologies felsiques que pour les lithologies mafiques pour lesquels il serait plus difficile de distinguer, dans certains cas, les roches altérées de celles non altérées. Un dernier point important est que ce diagramme a été développé pour identifier des vecteurs d'altération des assemblages minéralogiques associés aux gisements de sulfures massifs volcanogènes tels que ceux rencontrés en Abitibi. Selon Large *et al.*, (2001), son utilisation pour caractériser les altérations d'autres typologies de gisements tels les systèmes cuprifères porphyriques ou les gisements épithermaux aurifères peut être inadéquate.

La typologie de la minéralisation observée pour le projet Akasaba Ouest correspond à des sulfures disséminés composés de pyrite, chalcopryrite, de bornite et de digénite. Même si ce gisement ne correspond pas à un environnement de type sulfures massif volcanogènes, les principaux minéraux

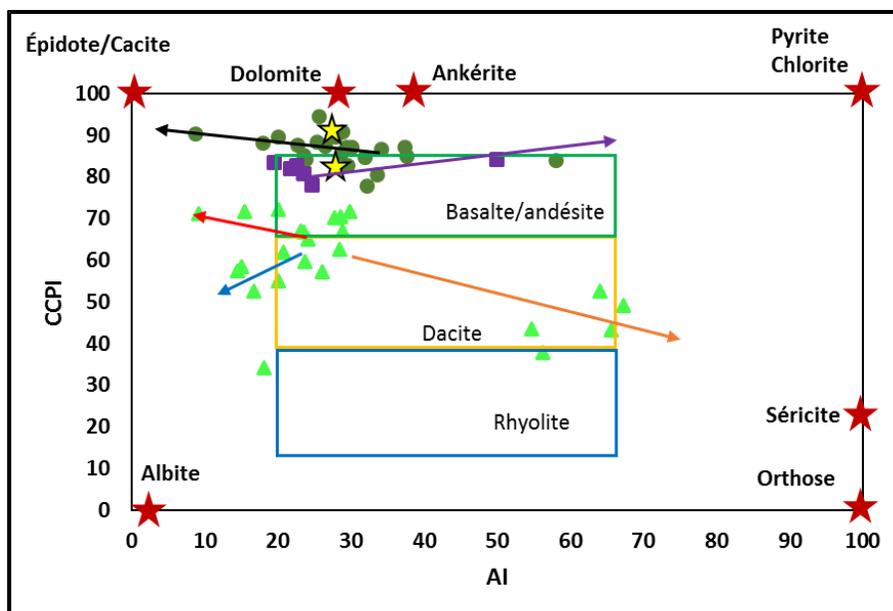
secondaires identifiés correspondent à de la chlorite, séricite, albite, orthose, calcite et épidote. Comme ces minéraux sont représentés dans le diagramme d'altération « Box Plot », ce diagramme sera utilisé comme première approche pour identifier des vecteurs et isoler des regroupements de minéraux secondaires pour chaque unité de stérile et de minerai du gisement Akasaba Ouest. Les résultats obtenus pour chacune des lithologies seront comparés avec les concentrations en éléments majeurs ainsi qu'aux teneurs en C_{total} , S_{total} et cuivre qui sont présentées aux Annexes A et B.

Les basaltes andésitiques (Unité 1)

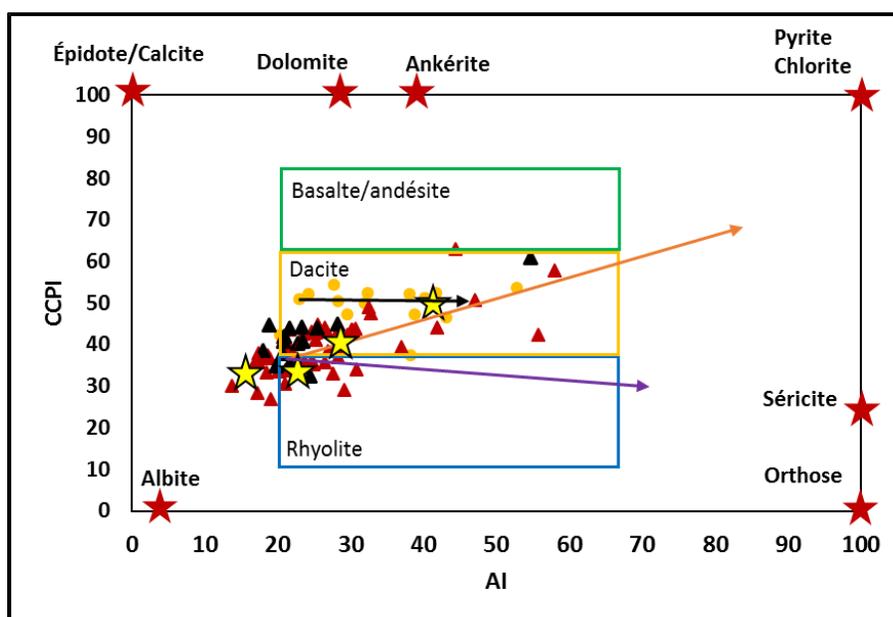
Le diagramme d'altération de la Figure 4-6A indique que les 22 échantillons de basalte andésitique se projettent dans la portion supérieure gauche du champ des basaltes/andésite, vers les pôles épidote et carbonates (calcite et dolomie). Les échantillons de basaltes ont été subdivisés en deux assemblages minéralogiques principalement sur la base des indices AI, CCPI et des concentrations en CaO. Le premier assemblage comprend les échantillons dont les indices AI et CCPI vont respectivement de 30 à 58 et de 78 à 87 et qui sont caractérisés par des concentrations en CaO allant de 4,06 % à 13,87 % (Tableau 4.3). Le second assemblage correspond aux échantillons caractérisés par des indices AI allant de 9 à 30 et CCPI compris entre 84 et 94. Les valeurs en CaO de ces échantillons sont supérieures à celles du premier assemblage et sont comprises entre 14,89 % à 22,38 %. Les teneurs en C_{total} varient entre 0,06 % et 0,42 % pour le premier assemblage suggérant la présence d'une faible quantité de carbonates dans les échantillons. Les teneurs en S_{total} inférieures à 0,08 % indiquent l'absence de sulfures pour la plupart des échantillons de cet assemblage à l'exception de l'échantillon AKA14-ENV-021 pour lequel la teneur est de 0,56 %. Les teneurs en C_{total} du second assemblage vont de 0,27 % à 0,76 % indiquant la présence de carbonates alors que les teneurs en S_{total} sont $\leq 0,27$ %. Les concentrations élevées en CaO indiquent que les basaltes andésitiques sont affectés par une épidotisation dont l'intensité varierait de modérée (premier assemblage) à forte (second assemblage).

Les basaltes ferro-titanifères (Unité 2)

Les échantillons des basaltes ferro-titanifères se projettent dans le coin supérieur gauche du champ des basaltes et des andésites, à l'exception de l'échantillon CAEXD273750 qui est situé vers la droite, en direction du champ des chlorites et séricites (Figure 4.6A). Les concentrations en CaO sont élevées allant de 11,06 % à 12,80 % et confirment la présence d'épidote (Tableau 4.3).

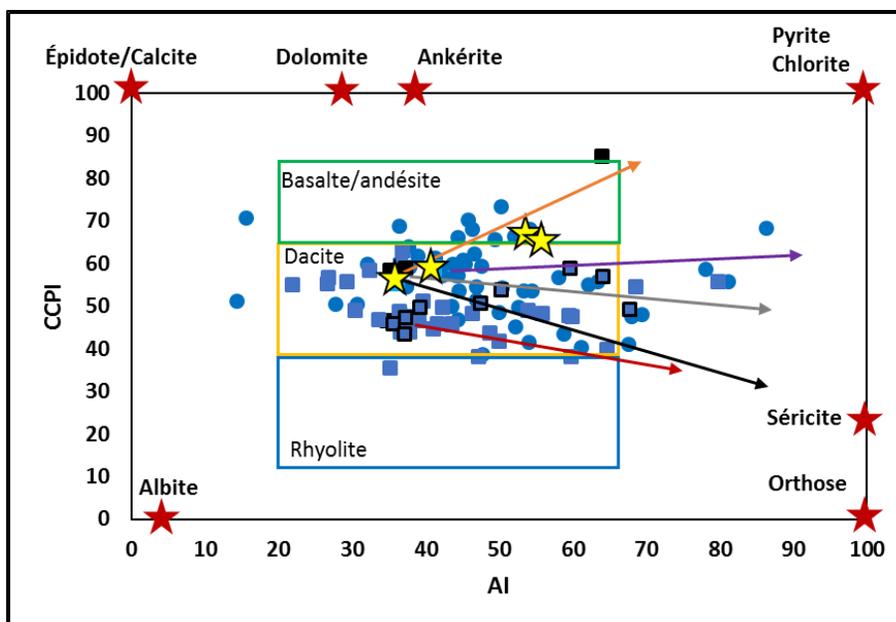


A) Basaltes andésitiques, unité 1 (→), ferro titanifères, unité 2 (→),
Andésites, unité 3, faciès #1 (→), faciès #2 (→) et faciès #3 (→).

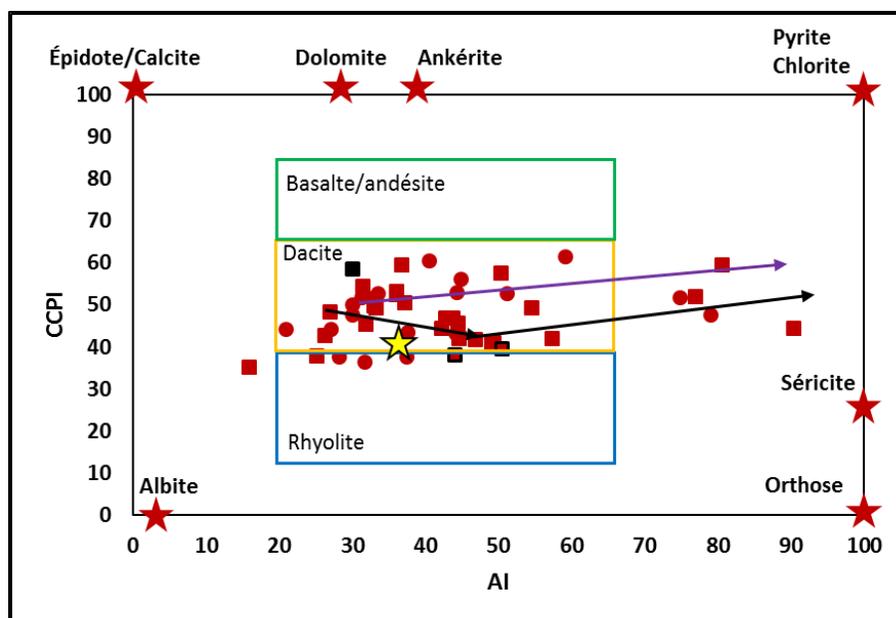


B) Andésites alcalines, unité 4B (→) et unité 5B, faciès #1 (→); faciès #2 (→)

Figures 4-6 : Diagrammes «Box Plot» et vecteurs (→) de faciès d'altération – Akasaba Ouest (stériles, symbole noirs plein (ex. ●); minerais, symboles contourés (ex. ●) et échantillons d'essais cinétiques en cellules d'altération (★). Tiré de Large *et al.*, 2001.



C) Dacites, tufs dacitiques (unité 4A) faciès #1 (→), faciès #2 (→) et faciès #3 (→)
Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A) groupe #1 (→) et groupe #2 (→)



D) Dacites, tufs dacitiques (→) et intrusions dacitiques (→) unité 5A

Figures 4-6 (suite).

Tableau 4.3 Caractéristiques géochimiques de faciès d'altération et assemblages minéralogiques estimés – Akasaba Ouest

Unité	AI	CCPI	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	S _{total}	C _{total}	Assemblage
1	9 - 30	84 - 94	0,45 - 2,76	14,89-22,38	0,07 - 0,62	7,10 - 12,80	< 0,27	0,27 - 0,76	Épidote, albite, calcite
	30 - 58	78 - 87	1,72 - 3,55	4,06 - 13,87	0,41-1,16	7,66 - 13,67	≤ 0,08	0,06 - 0,42	Épidote, albite, calcite
2	20 - 25	78 - 83	3,28 - 4,14	11,06 - 12,8	0,15 - 0,43	10,97 -15,56	0,07 - 0,70	0,14 - 0,53	Épidote, albite, calcite
	50	84	1,94	4,05	2,09	17,72	0,69	0,03	Chlorite, épidote, séricite, sulfures
3	21 - 30	57 - 72	1,43 - 3,90	6,21 - 12,54	0,57 - 4,21	4,45 - 6,44	0,09 - 1,79	0,05 - 0,63	Épidote - albite ± sulfures et calcite
	9 - 20	71 - 72	3,31 - 4,44	9,53 - 11,64	0,25 - 0,38	6,14 - 10,7	0,04	0,07	Épidote - albite
	14 - 20	34 - 58	3,59 - 5,59	9,58 - 11,73	0,72 - 1,20	2,79 - 6,07	0,28 ; 0,42	0,34 ; 0,58	Albite - épidote, sulfures ± calcite
	55 - 67	38 - 53	0,70 - 2,21	3,58 - 5,85	6,19 - 9,58	4,97 - 6,37	0,13 - 0,23	0,08 - 0,41	Séricite / orthose
4A Volcanite	28 - 58	39 - 64	2,38 - 6,20	0,31 - 4,84	1,20 - 4,34	2,62 - 6,13	0,01 - 0,92	0,02 - 0,94	Albite, séricite, ± chlorite, sulfures, carbonates
	56 - 69	40 - 55	0,19 - 3,36	0,52 - 3,31	4,15 - 5,98	3,03 - 6,63	0,08 - 0,14	0,26 - 0,38	Séricite (orthose) ± albite
	36 - 56	66 - 73	2,04 - 3,70	2,88 - 6,17	1,61 - 2,61	6,19 - 8,79	1,26 ; 2,83	0,02 ; 0,42	Chlorite, albite, sulfures ± séricite, calcite
	63 - 86	56 - 68	0,89 - 2,27	0,18 - 0,93	4,32 - 5,52	6,69 - 12,20	0,08 ; 0,14	0,26 ; 0,38	Séricite (orthose) chlorite, sulfures
4A Porphyre	22 - 32	55 - 58	4,02 - 5,75	3,61 - 6,43	0,32 - 1,30	3,86 - 4,69	0,11 - 0,28	0,11 - 0,34	Albite ± séricite, calcite
	35 - 41	56 - 63	3,71 - 4,93	2,89 - 5,80	1,49 - 3,34	3,86 - 11,70	0,05 - 0,44	0,01 - 0,58	Albite, séricite, chlorite ± sulfures, calcite
	50 - 80	54 - 85	0,08 - 3,79	0,58 - 3,69	2,55 - 5,54	2,49 - 9,34	0,08 - 0,64	0,03 - 0,28	Séricite, chlorite ± sulfures,

Tableau 4.3 (suite) Caractéristiques géochimiques de faciès d'altération et assemblages minéralogiques estimés – Akasaba Ouest

Unité	AI	CCPI	Na ₂ O	CaO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	S _{total}	C _{total}	Assemblage
4A Diorite	30 - 43	35 - 51	5,02 - 6,33	1,96 - 3,97	1,64 - 3,11	2,71 - 5,76	< 0,16	0,1 - 0,6	Albite, séricite ± calcite
	46 - 68	38 - 51	2,66 - 4,61	0,42 - 2,14	3,39 - 5,34	3,12 - 5,71	0,24 - 0,73	0,20 - 0,41	Séricite, albite + sulfures, calcite
4B Andésite alcaline	20 - 32	42 - 54	4,63 - 6,54	2,75 - 4,16	0,76 - 1,70	3,69 - 4,77	0,04 - 0,42	0,08 - 0,69	Albite ± séricite, calcite
	38 - 58	37 - 53	3,43 - 4,99	0,45 - 2,95	1,87 - 2,44	2,77 - 4,84	0,33 - 1,08	≤ 0,34	Albite, séricite ± chlorite, sulfures
5A Volcanite	21 - 38	36 - 53	3,31 - 6,00	1,60 - 5,67	0,65 - 2,64	2,21 - 3,48	0,08 - 1,00	0,12 - 0,54	Plagioclase, séricite, + carbonates, sulfures
	40 - 79	43 - 61	0,49 - 4,19	0,32 - 5,10	1,81 - 5,01	2,81 - 6,42	0,37 - 2,09	≤ 0,2	Plagioclase, séricite, chlorite, sulfures
5A Intrusions	16 - 37	35 - 60	4,00 - 6,83	1,89 - 8,00	0,62 - 1,86	2,44 - 4,79	< 0,17	0,43 ; 0,63	Plagioclase, ± séricite, carbonates
	42 - 90	38 - 60	0,63 - 5,03	0,13 - 3,71	2,07 - 7,29	2,25 - 9,24	0,35 - 0,83	0,50 ; 0,76	Plagioclase, séricite, chlorite, sulfures ± carbonates
5B	14 - 33	27 - 49	3,06 - 6,73	0,75 - 5,77	0,68 - 2,79	1,61 - 4,13	0,23 - 1,42	0,19 - 0,59	Plagioclase, quartz séricite, chlorite calcite, orthose ± sulfures,
	37 - 56	39 - 44	2,35 - 5,11	1,40 - 2,20	2,46 - 3,94	2,98 - 3,67	0,24; 0,26	0,10 - 0,20	Quartz, plagioclase séricite, chlorite, sulfures
	44 - 58	51 - 63	1,80 - 4,83	0,55 - 2,74	2,02 - 3,30	5,38 - 5,94	4,12	0,39	Quartz, plagioclase, séricite, chlorite, sulfures, carbonates

Dans les journaux de sondage, les descriptions des plusieurs échantillons mentionnent également la présence d'épidote (Annexe A). De faibles proportions de carbonates seraient présentes pour les échantillons AKA14-ENV-061 et AKA14-ENV-041 dont les teneurs en C_{total} sont respectivement de 0,56 % et 0,43 %. Les échantillons CAEXD273750 et CAEXD275982 contiennent respectivement 0,69 % et 0,70 % de S_{total} et des teneurs en cuivre de 3790 et 4070 ppm. Leurs concentrations en Fe_2O_3 de 17,72 % et 15,56 % sont également supérieures à celles des autres échantillons suggérant la présence de sulfures, dont la chalcopyrite et de pyrite qui sont mentionnées pour l'échantillon CAEXD275982. L'échantillon CAEXD273750 (AI de 50) se projette vers le lien séricite-chlorite et est caractérisé par des pertes en CaO et Na_2O et un gain en K_2O . Ces gains et pertes suggèrent la présence d'une séricitisation des plagioclases, dont l'albite, selon l'équation 4.3 :



Les andésites (Unité 3)

Les andésites interprétées comme peu altérées possèdent des indices AI de 21 à 30 et CCPI de 52 à 72. Ils sont caractérisés par des concentrations en Na_2O de 1,43 % à 3,90 % et en CaO de 3,58 % à 5,85 %. La plupart des échantillons ont des valeurs en K_2O allant de 0,57 % à 1,63 %. Ces résultats suggèrent que les andésites peu altérées sont caractérisées par la présence d'albite, d'épidote et d'une faible proportion de séricite. Les concentrations en CaO peuvent également indiquer la possible présence d'épidote.

Les échantillons d'andésites altérées sont subdivisés en trois assemblages minéralogiques (Figure 4-6A). Le premier assemblage comprend cinq échantillons (CAEXD270981, CAEXD271976, CAEXD273736, AKA14-ENV-042 et AKA14-ENV-063) qui sont caractérisés par des indices AI de 14 à 20 et CCPI de 34 à 58 et dont le vecteur d'altération pointe vers le centre de l'axe gauche CCPI. Ces résultats représenteraient des proportions variables d'épidote, d'albite \pm calcite et/ou une possible altération de type albitisation. Ces échantillons contiennent également une faible quantité de carbonates puisque deux échantillons (AKA14-ENV-042 et AKA14-ENV-063) présentent des concentrations C_{total} de 0,34 % et 0,58 %. Ces concentrations sont cependant supérieures à la plupart de celles obtenues pour l'ensemble des échantillons d'andésites.

Les trois échantillons du second assemblage (CAEXD275983, CAEXD270986 et CAEXD270987) sont caractérisés par des indices $AI \leq 20$ et des indices CCPI sont ≥ 71 et le vecteur d'altération se

projette vers le côté gauche et dans la portion supérieure de l'axe CCPI (Figure 4-6A). La présence d'épidote et particulièrement d'une forte épidotisation est mentionnée dans les journaux de sondages pour les échantillons CAEXD275983 et CAEXD270987. Il est difficile de suspecter la présence de carbonates, car un seul (CAEXD275983) a été analysé pour le C_{total} et a rapporté une concentration de 0,07 %.

Les échantillons du troisième assemblage (AKA14-ENV-018, 019 et 020, CAEXD270980 et CAEXD273737) se projettent vers le pôle séricite et possèdent un indice AI variant de 55 à 67 et des indices CCPI de 38 à 53 (Figure 4-6A). Lorsqu'ils sont comparés aux échantillons considérés peu altérés (AI de 20 à 30), les échantillons de cet assemblage sont caractérisés par de forts enrichissements en K_2O compris entre 6,19 % et 9,58 % associés à une perte en Na_2O (0,70 % à 2,21 %) et CaO (3,58 % à 5,85 %) suggérant la présence d'une altération en séricite et/ou orthose (Annexe A).

Les dacites et tufs dacitiques de type 1 (Unité 4A)

Les échantillons de dacites et de tufs dacitiques considérés peu altérés selon le diagramme de la figure 4-6C sont caractérisés par des indices AI de 28 à 58 et CCPI de 39 à 64. Leurs concentrations en Na_2O (2,38 % à 6,20 %) et CaO (0,31 % à 4,84 %) suggèrent que des plagioclases (albite) seraient présents dans les échantillons. Les valeurs en K_2O (0,36 % à 4,64 %) indiqueraient que les plagioclases seraient partiellement séricitisés. Les descriptions macroscopiques mentionnent également la présence de chlorite, en particulier pour les échantillons dont les concentrations en MgO sont supérieures à 2% (Annexe A). Les teneurs en S_{total} (0,01 % à 0,92 %) et en cuivre (traces à 9610 ppm) indiquent la présence de sulfures, dont la chalcopyrite. Les teneurs en C_{total} (0,02 % à 0,94 %) suggèrent une faible proportion de carbonates.

Les dacites et tufs dacitiques altérés de l'unité 4A sont également caractérisés par trois assemblages minéralogiques d'altération hydrothermale (Figure 4-6C). Le premier assemblage comprend les échantillons possédant des indices AI de 59 à 69 et CCPI compris entre 40 et 55. Les échantillons de cet assemblage (CAEXD270988, 272484, 273731, 273733, 273741 et 273988) sont caractérisés par des concentrations en K_2O (4,15 % et 5,98 %) supérieures, ainsi que des concentrations en CaO (0,52 % à 1,76 % excepté 3,31 %) et Na_2O (0,19 % à 3,36 %) légèrement à modérément inférieures, à celles des échantillons possédant un indice $AI \leq 59$ (Annexe A). Cet assemblage serait caractérisé par la présence de séricite et/ou d'orthose et d'albite. Les échantillons de ce premier assemblage se

projetent vers le pôle de la séricite (Figure 4-6 C). Deux des six échantillons du premier assemblage ont été analysés pour les concentrations en S_{total} et C_{total} . Ces échantillons ont rapporté des teneurs en S_{total} de 0,08 % et 0,14 % et C_{total} de 0,26 % et 0,38 % suggérant l'absence de sulfures ou de sulfates et une très faible proportion possible de carbonates. Plusieurs échantillons dont les teneurs en S_{total} n'ont pas été analysés sont caractérisés par des teneurs en cuivre allant de 101 ppm à 15550 ppm (1,55 %) suggèrent la présence de chalcopyrite.

Le second assemblage minéralogique comprend les échantillons CAEXD272000, 272978, 272987 et 273997 qui sont caractérisés par un indice AI compris entre 63 et 86 et un indice CCPI entre 56 et 68. Comparativement aux échantillons ayant un $AI < 59$ et ceux du premier assemblage, les échantillons du second assemblage possèdent des concentrations élevées en Fe_2O_3 (6,69 % à 12,2 %). Les concentrations en K_2O (4,32 % à 5,52 %), CaO (0,18 % à 0,93 %) et Na_2O (0,89 % à 2,27 %) sont cependant similaires à celles du premier assemblage. Ces teneurs suggèrent un assemblage minéralogique dominé par la séricite et/ou orthose, la chlorite et ainsi que des sulfures contenant du fer et de cuivre (pyrite, pyrrhotite et/ou chalcopyrite). Cette interprétation serait supportée par la projection des échantillons du second faciès vers le lien séricite – chlorite/pyrite (Figure 4A). Les teneurs en cuivre pour les échantillons varient de 1905 à 18000 ppm.

Le troisième assemblage minéralogique comprend un total de 9 échantillons (CAEXD271991, 271995, 272481, 273455, 273496, 272500, 275978, AKA14-ENV-004 et AKA14-ENV-064). Ces échantillons sont caractérisés par des indices AI de 36 à 56 et des indices CCPI de 66 à 73. Ils contiennent des concentrations en Fe_2O_3 de 6,19 % à 8,79 % qui indiqueraient la présence de chlorite et/ou sulfures ainsi que des concentrations élevées en PAF (3,25 % à 6,07 %), Na_2O (2,04 % à 3,70 %) et en CaO (2,88 % à 6,17 %) qui sont supérieures à celles des autres échantillons. Les concentrations en K_2O (1,61 % à 2,61 %, excepté 4,05 %) sont cependant inférieures à celles des assemblages 1 et 2. Les échantillons de ce troisième assemblage se projettent vers le pôle chlorite/pyrite de la figure 6 C.

Les intrusions dacitiques et QFP de type 1 (Unité 4A)

Le diagramme de la figure 4-6C montre que les intrusions de composition dacitique et QFP peuvent se subdiviser en deux groupes lithologiques. Les échantillons du premier groupe lithologiques sont caractérisés par un indice $CCPI \geq 50$ et plusieurs descriptions macroscopiques mentionnent qu'ils possèdent une texture porphyrique (quartz et plagioclase). Les échantillons considérés les moins

altérés du premier groupe présentent des indices AI compris entre 22 et 32 (Tableau 4.3), des concentrations élevées en CaO (3,61 % à 6,43 %) et Na₂O (4,02 % à 5,75 %) ainsi que des concentrations faibles en K₂O (0,32 % à 1,30 %). Ces concentrations suggèrent la présence de plagioclases peu séricitisés.

Les échantillons altérés possèdent des indices AI de 50 à 80 et CCPI de 54 à 85. Ils sont appauvris en CaO (0,58 % à 3,69 %) et Na₂O (0,08 % à 3,79 %) et sont enrichis en K₂O (2,55 % à 5,54 %). Ces échantillons se projettent vers le côté droit du diagramme suggérant la présence de séricite et d'une certaine proportion de chlorite. La présence de chlorite est particulièrement suspectée dans l'échantillon AKA14-ENV-055 qui contient des teneurs élevées en Fe₂O₃ de 9,34 %, en MgO de 9,98 %, une PAF de 5,55 % et une faible teneur en S_{total} de 0,08 %. Les teneurs en S_{total} (0,08 % à 0,64 %) de ces échantillons indiquent la présence de traces à 1 % de sulfures. Les teneurs en Cu de 2210 à 6888 ppm indiquent que des traces à près de 2 % de chalcopryrite sont présentes dans plusieurs échantillons. Les échantillons altérés du premier groupe lithologique se projettent vers le lien séricite – chlorite/pyrite (Figure 4-6 C).

Les échantillons considérés les moins altérés du second groupe lithologique d'intrusions dacitiques sont caractérisés par des indices AI de 30 à 43 et CCPI de 35 à 51 (Figure 4-6C). Ces échantillons ont été décrits comme des diorites quartzifères dans les journaux de sondages. Les concentrations varient de 1,96 % à 3,97 % pour le CaO et de 5,02 % à 6,33 % pour le Na₂O indiquant la présence de plagioclases. Les concentrations en K₂O (1,64 % à 3,11 %) suggèrent que ces plagioclases seraient faiblement à modérément séricitisés. Les descriptions de sondages mentionnent également la présence de biotite (Annexe A). Les résultats en S_{total} qui sont ≤ 0,16 % indiquent que la plupart des échantillons ne contiennent pas de sulfures et ce même si les teneurs en Cu sont ≥ 965 ppm pour la plupart des échantillons. De plus, quelques échantillons possèdent des teneurs en C_{total} ≥ 0,2 % suggérant la présence d'une faible quantité de carbonates.

Les échantillons altérés sont caractérisés par de faibles concentrations en CaO (0,42 % à 2,14 %) et Na₂O (2,66 % à 4,61 %) et des valeurs élevées en K₂O (3,39 % à 5,34 %) suggérant toujours la présence d'albite et d'une séricitisation plus importante. Deux échantillons (AKA14-ENV-006 et CAEXD273488) ont rapporté des concentrations en S_{total} de 0,64 % et 0,73 % indiquant la présence de minéraux sulfurés. De plus, les teneurs en Cu vont de 416 à 7990 ppm suggérant la présence de chalcopryrite. La chalcopryrite et la pyrite sont fréquemment mentionnées dans les descriptions de

ces échantillons. Les valeurs en C_{total} varient de $\leq 0,2\%$ à $0,41\%$. Les échantillons altérés du second groupe se projettent vers le pôle séricite (Figure 4-6 C).

Les andésites alcalines et tufs andésitiques alcalins de type 1 (Unité 4B)

Le diagramme d'altération montre que la majorité des échantillons d'andésites alcalines de type 1 ou de l'unité 4B se projettent dans le champ des dacites peu ou non altérées (Figure 4-6B). Cependant, les analyses géochimiques présentées à l'Annexe A permettent de faire une discrimination entre deux assemblages minéralogiques d'échantillons. Les échantillons d'andésites alcalines peu altérés du premier assemblage se projettent à gauche du champ des dacites. Ces échantillons sont caractérisés par des indices d'altération AI compris entre 20 et 32 ainsi que des concentrations en Na_2O de $4,63\%$ à $6,54\%$, en CaO de $2,75\%$ à $4,16\%$ et en K_2O de $0,76\%$ à $1,70\%$. Les concentrations en C_{total} analysées vont de $0,08\%$ à $0,69\%$ indiquant la présence d'une faible quantité de carbonates. Les teneurs en S_{total} sont très faibles à l'exception de l'échantillon CAEXD270992 qui est caractérisé par une teneur $0,69\%$.

Les échantillons considérés modérément altérés du second assemblage suivent un vecteur d'altération se projetant vers le lien séricite - chlorite (Figure 4-6 B). Ils sont caractérisés par un indice d'altération AI allant de 38 à 58, des concentrations plus faibles en Na_2O ($3,43\%$ à $4,99\%$) et en CaO ($0,45\%$ à $2,95\%$) et plus élevées en K_2O ($1,87\%$ à $2,44\%$). Ces pertes et gains chimiques suggèrent que ces échantillons sont affectés par une séricitisation des plagioclases. De plus, les teneurs en S_{total} de quatre échantillons sont comprises entre $0,26\%$ et $1,08\%$ indiquant la présence de minéraux sulfurés. Les teneurs en Cu (1500 à 3289 ppm) de trois de ces échantillons contiennent de traces à 1% de chalcopryrite. Peu de carbonates seraient présents dans ces échantillons puisque les concentrations en C_{total} sont toutes faibles ($\leq 0,34\%$).

Les dacites, tufs dacitiques de type 2 (Unité 5A)

Les échantillons de dacites et tufs dacitiques de type 2 de l'assemblage minéralogique considéré le moins altéré possèdent des indices AI compris entre 21 et 38 et des indices CCPI de 36 à 53. Dans l'ensemble, les concentrations en Na_2O ($3,31\%$ à $6,00\%$), en CaO ($1,60\%$ à $5,67\%$) ainsi qu'en K_2O ($0,65\%$ à $2,64\%$) sont élevées suggérant que les plagioclases seraient faiblement à modérément séricitisés. Les teneurs en C_{total} varient de $0,12\%$ à $0,54\%$ indiquant la présence d'une faible proportion de carbonates. Certains échantillons possèdent une certaine proportion de sulfures

puisque les teneurs en S_{total} vont de 0,08 % à 1,00 % et les teneurs en Cu sont ≤ 1229 ppm (Annexe A).

Les échantillons de l'assemblage minéralogique altérés sont caractérisés par des indices AI de 40 à 79 et CCPI de 43 à 61 (Figure 4-6 D). Les concentrations en Na_2O et CaO diminuent progressivement avec l'augmentation de l'indice AI alors que celles en K_2O augmentent suggérant une intensification de la séricitisation. Les concentrations en Fe_2O_3 (2,81 % à 6,42 %) sont également plus élevées que celles des échantillons moins altérés suggérant, en outre, la présence d'une chloritisation. Les descriptions macroscopiques mentionnent également la présence de séricite et de chlorite (Annexe A). Trois des quatre échantillons analysés pour évaluer les teneurs en S_{total} ont rapporté des concentrations allant de 0,05 % à 2,09 %. Les teneurs élevées en S_{total} sont couplées avec des concentrations élevées en Fe_2O_3 suggérant la présence de sulfures. Les concentrations en C_{total} sont $\leq 0,2$ %. La présence d'une séricitisation et d'une chloritisation avec une possible présence de sulfures serait appuyée par la projection des échantillons altérés vers le lien séricite-chlorite/pyrite qui est situé du côté droit de la figure 4-6 D.

Les intrusions dacitiques de type 2 (Unité 5A)

Les intrusions dacitiques de type #2 peu altérées sont caractérisées par des indices AI de 16 à 37 et CCPI de 35 à 60 (Figure 4-6H). Les concentrations en Na_2O (4,00 % à 6,83 %) et CaO (1,89 % à 8,07 %) sont élevées alors que celles en K_2O sont comprises entre 0,62 % et 1,86 % suggérant une faible séricitisation des plagioclases. Les teneurs en S_{total} sont inférieures à 0,17 % suggérant des traces de sulfures dans certains échantillons. Deux échantillons ont des concentrations en C_{total} de 0,43 % et 0,63 % et des concentrations en PAF respectives de 3,21 % et 4,12 % suggérant la présence de carbonates.

Les intrusions dacitiques altérées possèdent des indices AI de 42 à 90 et des indices CCPI de 38 à 60. Les concentrations en Na_2O (0,63 % à 5,03 %) et CaO (0,13 % à 3,71 %) diminuent alors que celles en K_2O (2,07 % à 7,29 %) augmentent en passant d'un indice AI de 42 à 90 suggérant une séricitisation progressive des plagioclases. La séricitisation serait importante pour les échantillons caractérisés par des AI compris entre 77 et 90 et plusieurs possèdent des concentrations en S_{total} variant de 0,35 % à 0,83 % suggérant la présence de sulfures. Les teneurs en Cu sont variables allant de 73 ppm à 6200 ppm indiquant des proportions de chalcopirite qui peuvent atteindre jusqu'à 2 %. D'autres échantillons sont caractérisés par des concentrations en Fe_2O_3 qui varient de

4,00 % à 9,24 % suggérant la présence de sulfures de fer dont la pyrite et/ou de chlorite. Ces deux phases sont également mentionnées dans les descriptions macroscopiques. Seulement deux échantillons analysés pour le C_{total} (0,30% et 0,76 %) ont retourné des teneurs indiquant la présence d'une faible quantité de carbonates. Tout comme pour les échantillons de dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A, la présence d'une altération à séricite, chlorite avec ou sans pyrite est également interprétée dans la figure 4-6 D par la projection des échantillons altérés vers le lien séricite-chlorite/pyrite.

Les andésites et tufs andésitiques alcalins de type #2 (Unité 5B)

Les andésites et tufs andésitiques alcalins de type 2 considérés peu altérés sont caractérisées par des indices AI allant de 14 à 33 et des indices CCPI de 27 à 49 (Figure 4-6B). Avec l'augmentation de l'indice AI, on observe une légère diminution des concentrations en Na_2O et CaO couplée à une faible augmentation de celles en K_2O indiquant le début d'une séricitisation des plagioclases. Un total de 56 échantillons (41 %) ont été analysés pour déterminer les teneurs en S_{total} . De ces échantillons, 15 (26 %) ont des teneurs en S_{total} comprises entre 0,23 % et 1,42 %. Comme les teneurs en Cu (chalcopryrite) sont faibles, les teneurs en S_{total} correspondraient probablement à la présence de 0,5 % à 2 % de pyrite. Un total de 70 % des échantillons analysés pour le C_{total} ont retourné des teneurs entre 0,19 % et 0,59 % indiquant la présence de 1 % à 5 % de carbonates (calcite). Les échantillons considérés faiblement à modérément altérés sont caractérisés par des indices AI de 37 à 58 et des indices CCPI de 39 à 63. Leurs concentrations en Na_2O (1,80 % à 2,71 %, excepté 5,11 %) et en CaO (0,55 % à 2,74 %) sont environ 50 % inférieures à celles des échantillons considérés peu altérés. On observe également un gain d'environ 50 % des concentrations en K_2O suggérant une séricitisation plus importante des échantillons altérés.

L'observation de la figure 4-6B indique que de deux faciès d'altération sont possibles à partir des échantillons peu altérés. Le premier faciès possède un vecteur d'altération qui se dirige vers le pôle de la séricite et comprend les échantillons CAEXD271981, 272981 et 275986 qui possèdent des indices CCPI de 39 à 44. Leurs concentrations en K_2O varient de 2,46 % à 3,94 % et en Fe_2O_3 de 2,98 % à 3,67 %. Deux des trois échantillons ont rapporté des teneurs en $S_{total} \leq 0,26$ %. Le second faciès est caractérisé par un vecteur d'altération se dirige vers le centre du lien séricite – chlorite/pyrite et comprend les échantillons CAEXD273456, 273729, 273977 et AKA14-ENV-001 dont les indices CCPI vont de 51 à 63. Les concentrations en K_2O de ces échantillons sont similaires

aux précédentes alors que celles en Fe_2O_3 sont de 5,38 % à 5,94 %. Un seul échantillon a été analysé pour le S_{total} et a retourné une teneur de 4,12 % alors que les journaux de sondages rapportent de traces à 2 % de pyrite pour deux autres échantillons. Bien que les valeurs en Fe_2O_3 élevées suggèrent la présence de pyrite, il est également possible qu'une certaine proportion de chlorite soit présente dans ces échantillons.

4.1.1.3 Les calculs environnementaux préliminaires

Les concentrations en soufre total (S_{total}) et en carbone total (C_{total}) ne sont pas systématiquement analysées par les compagnies minières lors des travaux réalisés au stade d'exploration d'un projet. La connaissance des concentrations de ces deux éléments peut s'avérer très pertinente au stade exploration du protocole géoenvironnemental car les résultats obtenus permettront d'effectuer une évaluation préliminaire du bilan acide-base (BAB) des lithologies qui composeront les stériles miniers. De plus, la connaissance de ces concentrations aidera à raffiner la sélection des échantillons qui seront ultérieurement soumis aux essais statiques (phase de mise en valeur) et cinétiques (phase de l'étude de préfaisabilité) du protocole géoenvironnemental.

Le BAB consiste à calculer la différence entre le potentiel d'acidification (PA) déterminé selon l'équation 3.1 à l'aide de la concentration en S_{total} et le potentiel de neutralisation (PN). Pour les échantillons du projet Akasaba Ouest, nous considérons que les concentrations en S_{total} analysées correspondent aux concentrations en S_{sulfures} . Cet argument est basé sur le fait qu'aucun minéral de la classe des sulfates n'a été visuellement observé dans les échantillons. De plus, nous considérons que la période de temps comprise entre l'extraction des carottes du substrat rocheux (2014) et la phase d'analyses géochimiques (2016) était trop courte pour favoriser la génération des sulfates. Les carottes de forages étaient également entreposées et partiellement protégées des conditions climatiques.

Si tout le carbone analysé est associé à des carbonates, comme c'est le cas pour le projet Akasaba Ouest, le potentiel de neutralisation est nommé PN_{Carb} et est calculé selon l'équation 3.3 pour obtenir le potentiel net de neutralisation basé sur les carbonates (PNN_{Carb}) en utilisant l'équation 3.4. Le PNN_{Carb} est l'un des paramètres utilisés pour déterminer le caractère acidogène de l'échantillon. Le rapport $\text{PN}_{\text{Carb}}/\text{PA}$ donne le rapport du potentiel de neutralisation de génération d'acide (RPN_{Carb}). Les résultats obtenus des calculs du PNN_{Carb} et du RPN_{Carb} seront comparés aux différents critères établis par les agences gouvernementales, dont ceux de la Directive 019 (Québec,

MDDEP, 2012) pour le projet Akasaba Ouest afin d'évaluer le risque environnemental et le mode de gestion des rejets miniers au stade de mise en valeur du protocole géoenvironnemental.

Le potentiel d'acidification (PA) et les concentrations en S_{tot}

Les résultats obtenus pour les concentrations en S_{total} indiquent que seulement 4 % des échantillons (6 échantillons sur 146) ont rapporté des valeurs inférieures à la limite de quantification (LQ) de 0,03 % pour le four à induction de l'URSTM. La LQ est approximativement de 3 fois supérieures à la limite de détection (LD) de 0,009 % pour cet appareil. De plus, selon la Directive 019, l'un des critères pour classer non-acidogène un résidu minier est que sa teneur en S_{total} soit inférieure à 0,3 %. Les résultats des concentrations en S_{total} nous permettent de faire une première subdivision en deux groupes parmi les unités lithogéochimiques d'Akasaba Ouest. Le premier groupe comprend les basaltes andésitiques (unité 1), les andésites (unité 3) et des intrusions dacitiques et QFP (unité 4A). Pour ces lithologies, entre 77 % et 93 % des échantillons analysés pour le S_{total} ont rapporté des concentrations inférieures ou égales à 0,3 % (Figure 4-7; Tableau 4.4; Annexe C). Les échantillons du second groupe comprennent les basaltes ferro-titanifères (unité 2), les dacites et tufs dacitiques (unités 4A et 5A), les intrusions dacitiques (unité 5A) et les andésites alcalines (unités 4B et 5B). Pour les lithologies de ce second groupe, entre 50 % et 67 % des échantillons analysés ont des concentrations en S_{total} inférieures ou égales à 0,3 %. Bien que ces lithologies soient caractérisées par de nombreuses valeurs de $S_{total} \leq 0,6\%$, entre 12 % (intrusions QFP), 50 % (basaltes ferro-titanifères) et 18 % (andésites alcalines type 2) des échantillons ont des valeurs de S_{total} comprises entre 0,6 % et 4,12% (Annexe C).

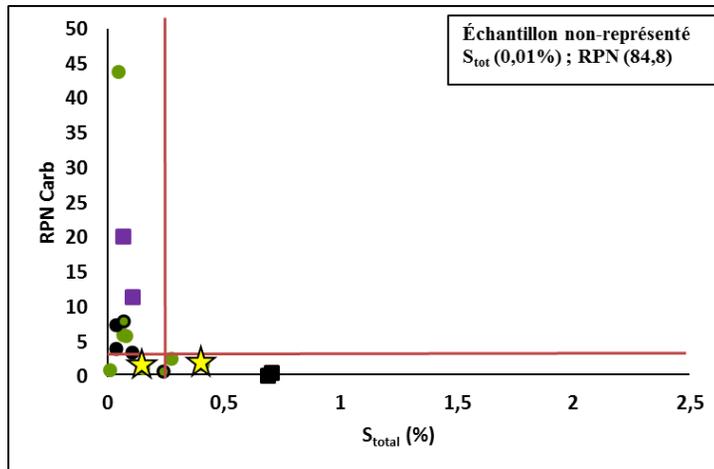
Les concentrations en C_{total} et le potentiel de neutralisation (PN_{Carb})

L'une des problématiques observées dans les calculs du BAB des échantillons concerne la valeur de la LQ pour les concentrations en C_{total} . Un total de 46 % (67 échantillons sur 146) des résultats indiqués au tableau 4.4 ont rapporté des concentrations en C_{total} inférieures à la limite de quantification de 0,2 % pour le four à induction utilisé à l'URSTM (Annexe C). Aucune limite de détection n'est disponible pour les analyses réalisées par Mines Agnico Eagle ltée en 2014. Ces résultats suggèrent que la plupart des lithologies encaissantes du gisement Akasaba Ouest contiennent de très faibles proportions de carbonates.

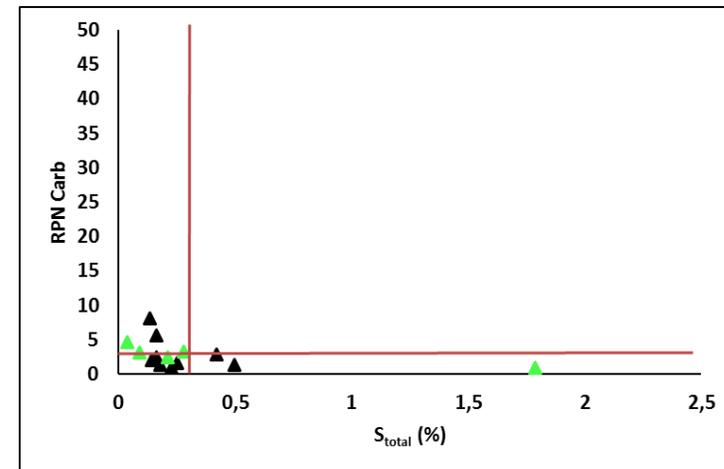
Tableau 4.4 Paramètres environnementaux basés sur les teneurs en S_{total} et C_{total} des unités lithologiques - Akasaba Ouest

	Unité #1	Unité #2	Unité #3	Unité 4A Volcanite	Unité 4A Intrusion	Unité 4B	Unité 5A Volcanite	Unité 5A Intrusion	Unité 5B
	n = 13	n = 4	n = 14	n = 24	n = 26	n = 10	n = 10	n = 15	n = 34
S_{tot}	<0,03-0,56	0,07 – 0,7	0,04 – 1,79	<0,03-2,20	0,05 – 0,73	0,04 – 1,03	<0,03-2,09	<0,03-0,59	<0,03-4,12
PA	1,1 – 17,6	2,2 – 22,0	1,2 – 55,9	0,4 – 88,5	1,5 – 22,8	1,4 – 32,1	0,1 – 65,3	0,1 – 18,4	0,1 - 129
$S_{\text{tot}} \geq 0,3\%$ (*)	7%	50%	21%	43%	23%	33%	40%	36%	36%
C_{tot}	0,06 - 0,76	0,14 – 0,53	0,05 – 0,63	0,02 – 0,94	0,01 – 0,60	0,01-0,69	0,02 – 0,79	0,02 – 0,76	0,05 – 0,91
PN_{Carb}	5,8 – 63,1	2,5 – 44,1	3,8 – 52,6	1,6 – 77,8	0,9 – 50,2	1,1 – 57,9	1,4 – 65,8	1,8 – 63,7	4,4 – 76,0
PNN_{Carb}	0,6 – 61,6	-19,1 - 42	-3,2- 34,9	-67 - 77,6	-19,2- 48,7	-29,6- 53,3	-63,9- 65,7	-10,8- 51,7	-96 – 75,8
RPN_{Carb}	0,9 – 43,9	0,12 - 20	0,68 – 8,14	0,03 - 213	0,7 - 34	0,08 – 16,4	0,03 - 658	0,2 - 257	0,11- 1030
$PNN_{\text{Carb}} < -20$	0	0	0	2 (9%)	0	1 (11%)	2 (20%)	0	1 (3%)
$PNN_{\text{Carb}} > 20$	2 (15%)	2 (50%)	3 (21%)	7 (30%)	6 (23%)	3 (33%)	3 (30%)	3 (21%)	13 (39%)
$RPN_{\text{Carb}} < 1$	1 (7%)	1 (25%)	3 (21%)	7 (30%)	6 (23%)	3 (33%)	4 (40%)	4 (29%)	4 (12%)
$RPN_{\text{Carb}} > 3$	7 (54%)	2 (50%)	6 (43%)	11 (48%)	13 (50%)	4 (45%)	5 (50%)	6 (43%)	18 (55%)

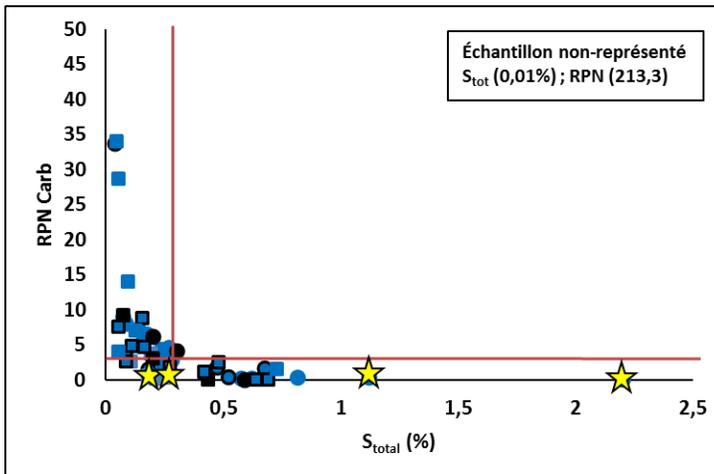
(*) Correspond au pourcentage d'échantillons de l'unité dont $S_{\text{tot}} > 0,3\%$



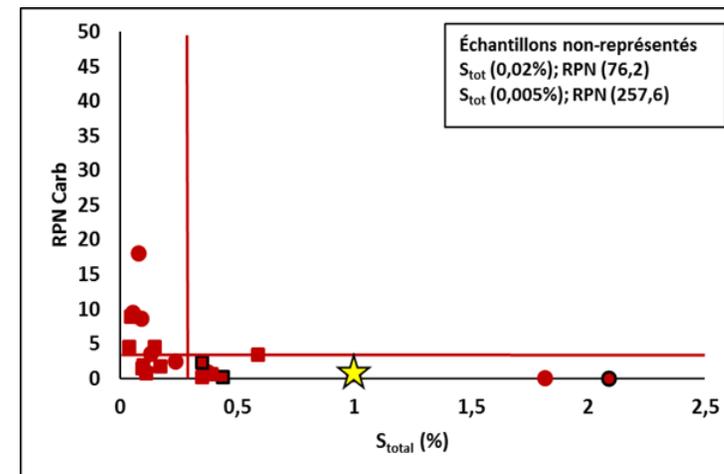
A) Échantillons unité 1 (●) et unité 2 (■)



B) Échantillons unité 3 (▲)



C) Échantillons unité 4A; volcanites (●), intrusions (■)



D) Échantillons unité 5A; volcanites (●), intrusion (■)

Figure 4-7 : Diagrammes RPN_{Carb} vs S_{total} des unités lithologiques – (Symboles pleins (ex. ● stériles); symboles contours noir (ex. ● minerais) et ★ échantillons essais en cellules d'altération). Droite rouge verticale ($S_{\text{total}} = 0,3\%$), horizontale ($RPN = 3$).

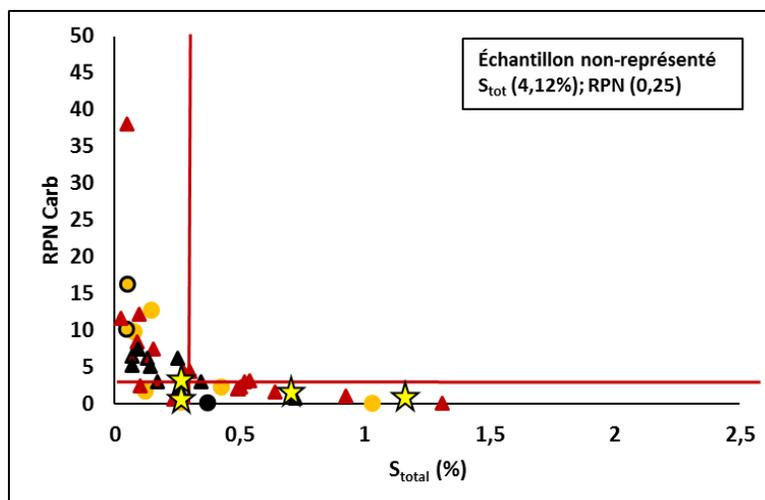


Figure 4-7 (suite)

E) Échantillons unité 4B (●) et 5B (▲)

Les résultats obtenus des calculs des potentiels de neutralisation (PN) basés sur les concentrations en C_{total} supérieures à la limite de quantification nous permettent de subdiviser deux groupes. Le premier groupe est caractérisé par les unités lithogéochimiques, dont plus de 75 % des échantillons recueillis sont caractérisés par une concentration en $C_{\text{tot}} \leq 0,36$ % (Annexe C). Ces unités correspondent aux basaltes andésitiques, aux andésites, aux intrusions dacitiques QFP, aux andésites alcalines (unité 4B) et aux dacites et intrusions dacitiques (unité 5A).

Le second groupe se compose des lithologies qui contiennent entre 30 % et 50 % d'échantillons, dont la $C_{\text{tot}} \geq 0,36$ %. Ces unités sont les basaltes ferro-titanifères (50% des échantillons), les dacites et tufs dacitiques (unité 4A; 35% des échantillons) et les andésites alcalines (unité 5B; 34 % des échantillons).

Calcul des potentiels net de neutralisation (PNN) et des rapports RPN

Un résidu minier est caractérisé comme générateur d'acide si son PNN est inférieur à $-20 \text{ CaCO}_3/\text{t}$ et présente un potentiel incertain de génération d'acide si son PNN est situé entre $20 \text{ kg CaCO}_3/\text{t}$ et $-20 \text{ CaCO}_3/\text{t}$ (Miller, Jeffery et Wong, 1991). Selon ces derniers critères, seulement 4 % de l'ensemble des échantillons analysés, correspondant à 6 échantillons, sont considérés comme générateur d'acide alors que 67 % présentent un potentiel incertain et 29 % ne sont pas considéré comme potentiellement générateur d'acide (Tableau 4.4; Annexe C). De l'ensemble des unités lithogéochimiques présentes au gisement Akasaba Ouest, seules les andésites alcalines de l'unité

5B contiendraient 40% d'échantillons dont les valeurs de PNN sont supérieures à 20 kg CaCO₃/t. Pour les autres unités, le nombre d'échantillons non générateur d'acide est compris entre 15 % (basalte andésitique) et 33 % (andésites alcalines de l'unité 4B). Selon Adam, Kourtis, Gazea et Kontopoukos (1997), un résidu caractérisé par un rapport PN/PA compris entre 1 et 3 se traduirait par un caractère incertain de génération alors qu'un RPN > 3 indique que le résidu est non-générateur. Les résultats (Figure 4-7; Tableau 4.4) obtenus indiquent que pour toutes les unités lithogéochimiques, plus de 45 % des échantillons sont caractérisés par un $RPN_{\text{Carb}} \geq 3$. Le RPN_{Carb} correspond aux valeurs calculées du RPN en considérant uniquement les valeurs de PN_{Carb} . Cependant, seulement quelques échantillons des unités de dacites des types 1 et 2 sont caractérisés par des RPN indiquant un potentiel incertain. Les échantillons potentiellement générateurs d'acide avec des RPN < 1 étant présents en plus grande proportion pour ces deux types de dacites. De plus, les andésites alcalines de type 2 (unité 5B) présentent le plus faible nombre d'échantillons (12 %) possédant des RPN < 1.

Pour la majorité des échantillons de toutes les lithologies, les teneurs en S_{total} sont $\geq 0,3$ % lorsque les valeurs de RPN_{Carb} sont ≤ 1 (Figure 4-7). Seuls les six échantillons intrusions dacitiques (unité 4A), pour lesquels les valeurs calculées de RPN_{Carb} sont ≤ 1 , contiennent 50 % d'échantillons avec des teneurs en $S_{\text{total}} > 0,3$ %. Les autres échantillons ont des teneurs en S_{total} variant de 0,18 % à 0,25 % (Annexe C)

4.1.2 Caractérisation minéralogique

Cette section regroupe les descriptions pétrographiques et minéralogiques recueillies à l'échelle macroscopique et microscopique des différentes unités lithologiques. Une attention particulière doit être portée à la distribution de la minéralisation non seulement pour les zones de minerai, mais également pour les lithologies qui formeront éventuellement les stériles miniers. Il est important de noter un certain nombre de paramètres dont : a) les variétés et les proportions de minéraux appartenant aux classes sulfures, sulfosels, oxydes et hydroxydes b) la morphologie, la texture et le degré d'altération des sulfures et/ou oxydes (Weisener et Weber, 2010) c) la typologie de la minéralisation (ex. disséminé, semi-massif, massif, veines) et d) les types et la proportion de minéraux formant la gangue (Parbhacar-Fox *et al.*, 2011). Les minéraux de la gangue associée au minerai, de même que les minéraux primaires et secondaires des stériles miniers pourront

également avoir un impact sur le potentiel de neutralisation de l'acide présent dans les eaux de drainage minier (Dyanty *et al.*, 2013).

4.1.2.1 Synthèse des observations minéralogiques

Les observations macroscopiques ont été réalisées au microscope binoculaire sur un total de 21 échantillons de la série AKA14-ENV. Toutes les unités lithologiques ont été décrites à l'exception des basaltes ferro-titanifères de l'unité 2. De l'ensemble de ces échantillons, onze ont été sélectionnés pour réaliser une étude de minéralogie optique en réflexion détaillée sur des sections polies d'agrégats de roche au microscope optique. Cette étude avait pour objectif d'identifier les différentes phases de sulfures et d'oxydes, la morphologie et les types de texture ainsi que l'altération et la zonation minéralogique des minéraux.

Les basaltes andésitiques (unité 1)

Les principales caractéristiques minéralogiques des basaltes andésitiques sont basées sur les échantillons AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV-070. Les basaltes andésitiques sont de couleur vert pâle à vert moyen et sont caractérisés par une granulométrie finement grenue. La matrice est composée de minéraux mafiques (amphibole), de plagioclases et de chlorite. Des microcristaux d'amphibole, dont la dimension est inférieure à 1 mm, sont également observés par endroits. Les basaltes andésitiques sont également caractérisés en plusieurs endroits dans les sondages par une altération composée d'épidote et de magnétite dont l'intensité varie de modérée à intense (Figures 4-8 a et b). Plusieurs veines et veinules de magnétite accompagnée de pyrite et de chalcopyrite recoupent des basaltes modérément à fortement épidotisés (Figure 4-8 b).

L'observation de sections polies indique que la proportion de pyrite et de chalcopyrite dans les fragments de basaltes andésitiques varie de 1 à 10 % (Figures 4-9 a, c et d). La pyrite est disséminée et est également observée le long de plans de schistosité. Les cristaux sont de formes xénomorphes à subautomorphes et leur dimension varie de 20 μm à 1 mm. La surface des grains est non altérée et non fracturée. Les pyrites contiennent parfois des inclusions de chalcopyrite et un minéral gris (silicate) en lumière naturelle. La chalcopyrite n'est présente que très localement sous forme disséminée ou en contact avec la pyrite (Figures 4-9 c et d). Elle est de forme xénomorphe à subautomorphe et sa dimension varie de 20 à 200 μm .



a) Sondage 164-14-007 (Magnétite Mt; Épidote Ep)
Basalte andésitique (Unité 1)

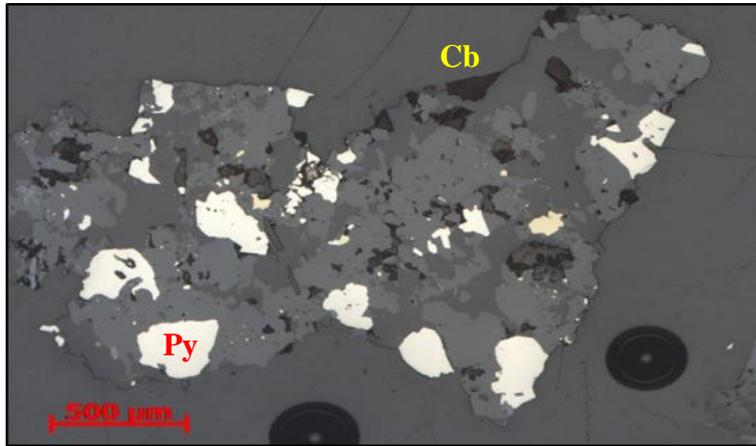


b) Sondage 164-14-005 (Veinule de magnétite (Mt) et de
chalcopirite (Cp), forte épidotisation (Ep); Unité 1)

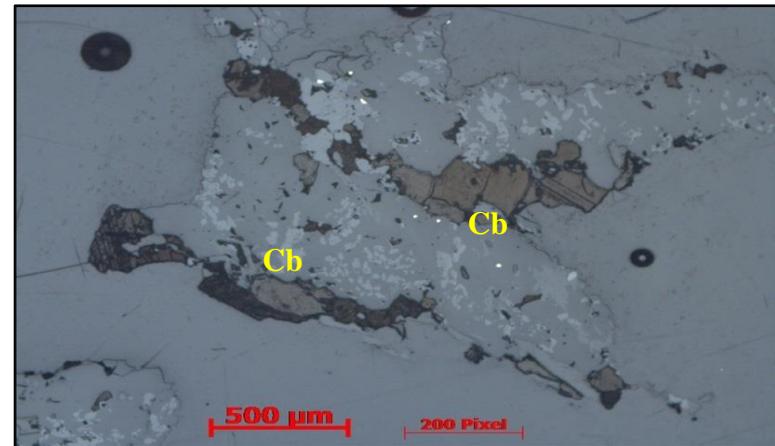


c) Sondage 164-16-004 Altération épidote; andésite (Unité 3)

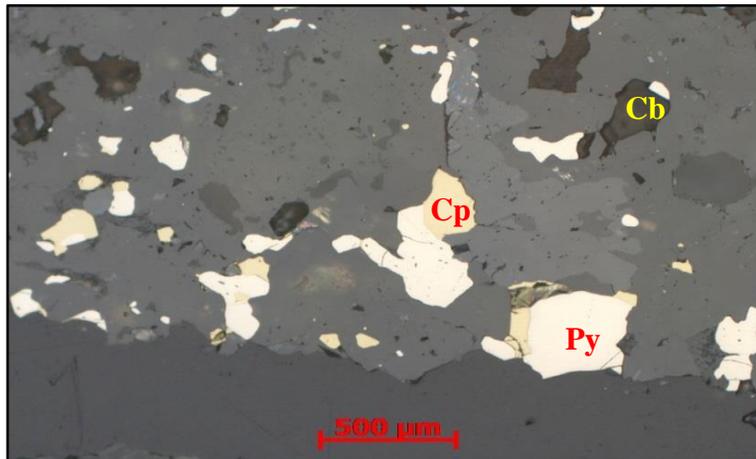
Figure 4-8 : Photos de carottes de forages – basaltes andésitiques (unité 1) et andésites (unité 3)



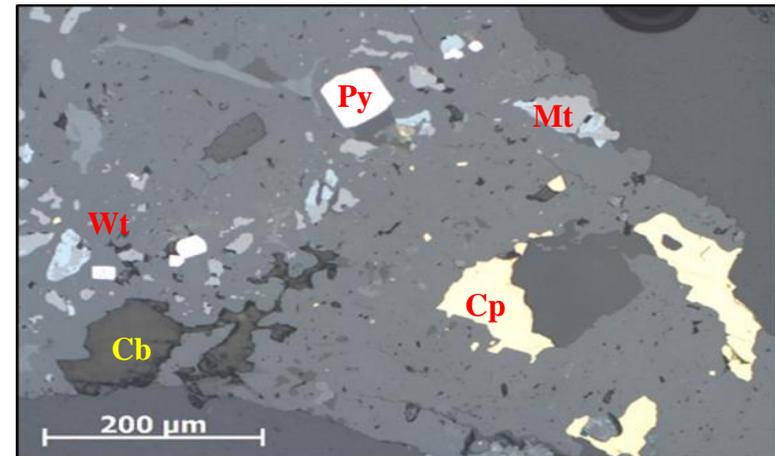
a) AKA14 ENV-021 (Pyrite, carbonate)



b) AKA14 ENV-021 (carbonate)



c) AKA14 ENV -070 (Pyrite, chalcopyrite et carbonate)



d) AKA14 ENV-070 (Magnétite et Wurstite)

Figure 4-9 : Micrographies optiques en réflexion – basaltes andésitique et andésite (unités 1 et 3). Légende : Py (Pyrite), Cp (Chalcopyrite), Cb (Carbonate), Mt (Magnétite), Wu (Wurstite)

Bien que certains grains présentent des surfaces altérées de couleur jaune-or, la surface des grains de chalcopryrite est généralement non altérée. Une zonation minérale, caractérisée par la présence d'un cœur de chalcopryrite et d'une frange de digénite (Cu_9S_5), est également observée dans l'échantillon AKA14-ENV-021. Les principaux minéraux de la classe des oxydes (Figure 4-9 d) identifiés sont la magnétite, la wurstite et le rutile. La magnétite se présente sous forme disséminée ($\leq 200 \mu\text{m}$) ainsi que sous forme semi-massive à massive dans les échantillons de forages (Figure 4-8 a). La wurstite est observée en association avec la magnétite sur les mêmes grains disséminés. Le rutile est généralement automorphe.

Les fragments de basaltes andésitiques contiennent jusqu'à 10 % de carbonates (Figures 4-9 a à d). Cette proportion de carbonate est conforme avec les concentrations en C_{total} obtenus des analyses suggérant un maximum de 7 % pour ces volcanites en considérant des teneurs en carbone d'une calcite. Ces carbonates sont généralement xénomorphes à subautomorphe et disséminés dans les fragments de roches ou formant des minces bandes en remplissage de fractures ou aligné le long de plans de schistosité (Figure 4-9 b et c). Les carbonates sont généralement disséminés dans les minéraux silicatés et très rarement en contact avec les sulfures et les oxydes.

Les andésites (Unité 3)

Les observations macroscopiques ont été réalisées sur un échantillon d'andésite (AKA14 ENV-042) et deux échantillons (AKA14 ENV-043 et AKA14 ENV-044) nommés porphyres quartzofeldspathiques (QFP) selon le rapport de caractérisation géochimique (Golder, 2015). Les andésites et les QFP sont de couleur gris pâle à vert pâle aphanitiques à finement grenues. Seul l'échantillon AKA14-ENV-044 contient quelques microphénocristaux de quartz de 1 à 2 mm baignant dans une matrice siliceuse. Ces roches sont affectées par une altération silicatée ainsi qu'une épidotisation dont l'intensité varie de faible à intense (Figure 4-8 c).

Les échantillons contiennent de traces à 3 % de pyrite disséminée, subautomorphe à automorphe (cubique). La dimension des grains varie de $5 \mu\text{m}$ à 1 mm. Les pyrites sont généralement non fracturées et non altérées et peuvent parfois contenir des inclusions d'un minéral gris foncé (silicate) et de chalcopryrite. La chalcopryrite a été observée dans nos trois échantillons. Elle se présente sous forme de grains xénomorphes très finement disséminés dans les minéraux silicatés composant les fragments de roches. La dimension de ces grains est inférieure à 0,1 mm ($100 \mu\text{m}$). La chalcopryrite est également observée sous forme de grains subautomorphes à automorphe (100

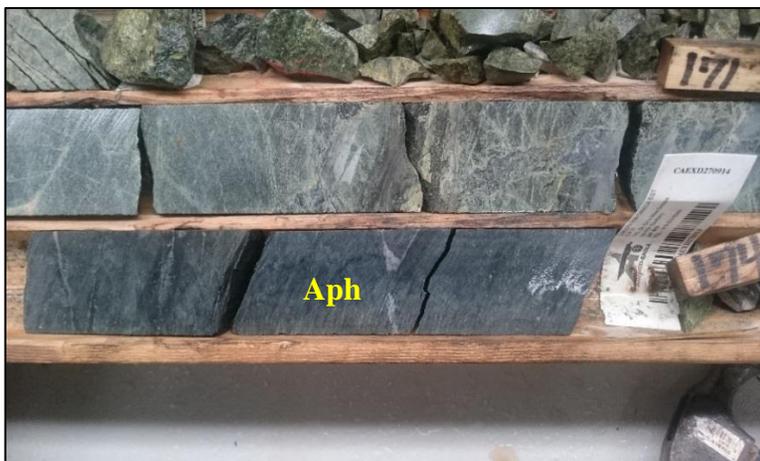
à 300 µm) disséminés dans les fragments. Ces chalcopyrites plus grossières présentent parfois une altération de leur surface de couleur jaune-or en lumière polarisée. La principale phase oxyde identifiée correspond à de la magnétite disséminée (5 à 40 µm) de formes xénomorphe à subautomorphe.

Les dacites, tufs dacitique et intrusions dacitiques porphyriques (Unité 4A)

Les échantillons de l'unité 4A comprennent des dacites (ex. AKA14 ENV-030 et 033), des tufs (ex. AKA14 ENV-064), des porphyres quartzo- feldspathiques (ex. AKA14 ENV-085) et des intrusions de compositions intermédiaires (ex. AKA14 ENV-004) ou mafiques (ex. AKA14 ENV-071). Ils sont généralement de couleur grise vert pâle et leur granulométrie varie d'aphanitique à finement grenu (Figure 4-10 a). Les principaux silicates reconnus sur les échantillons sont le quartz, la séricite, la chlorite et parfois de l'épidote. Certains échantillons contiennent également des microphénocristaux de quartz et de plagioclase de 0,5 à 1,0 mm (Figure 4-10 b). Les QFP (ex. AKA14 ENV-085) sont à texture porphyrique, de couleur gris pâle et contiennent de 5 à 10 % de microcristaux et de phénocristaux de plagioclase, de quartz et d'amphibole subautomorphe à automorphe de 1-5 mm (Figure 4-10 c).

Les principales phases sulfurées observées sont la pyrite et la chalcopyrite qui se présentent sous forme disséminée ou en petits amas avec des proportions allant de traces à 5 %. Les pyrites (0,1 à 2 mm) sont xénomorphes à automorphe (cubique). Les chalcopyrites (0,2 à 0,5 mm) sont xénomorphes et de couleur jaune-or. Dans certains échantillons de minerai (AKA14 ENV-004, AKA14 ENV-064), la chalcopyrite montre une altération bleu violacé qui correspondrait à de la bornite (Cu_5FeS_4). Un échantillon (AKA ENV-071) contient des traces de magnétite très fine et disséminée.

L'étude de sections polies indique que la pyrite est subautomorphe à automorphe (cubique) et disséminée au pourtour ainsi qu'à l'intérieur des fragments de roches (Figure 4-11 a et c). La dimension dominante des grains de pyrite est de 20 à 500 µm (0,02 à 0,5 mm) et l'on observe fréquemment des grains de pyrite dont la taille varie de 0,5 à 2,0 mm (Figure 4-11 d). La surface des grains est généralement homogène et peu fracturée. Les pyrites contiennent des inclusions de chalcopyrite ainsi que de minéraux gris pâle et parfois gris foncé correspondant possiblement à des silicates dont le quartz (Figure 4-11 d).



a) Dacite aphanitique (Aph; sondage 164-14-008)



b) Dacite, phénocristaux de quartz (sondage 164-14-006)

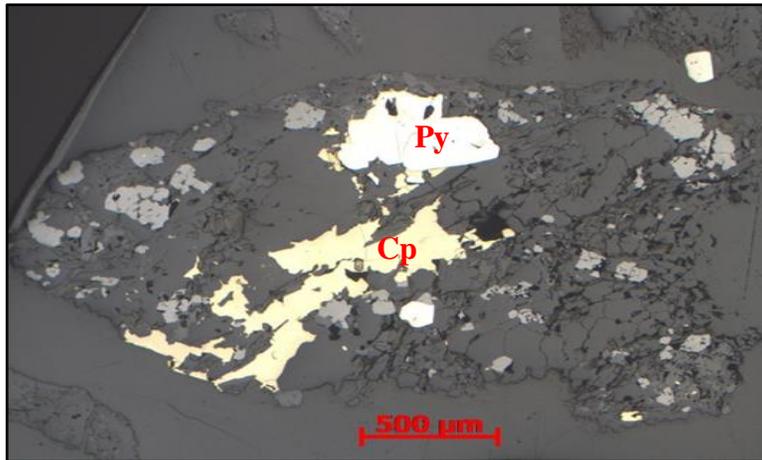


c) Sondage 164-14-007 (intrusion porphyrique QFP)

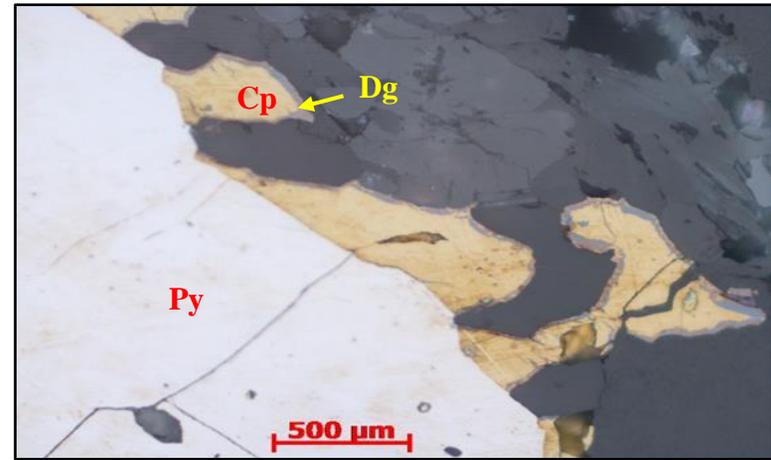


d) Sondage 164-14-008 (Dacite altérée et schisteuse)

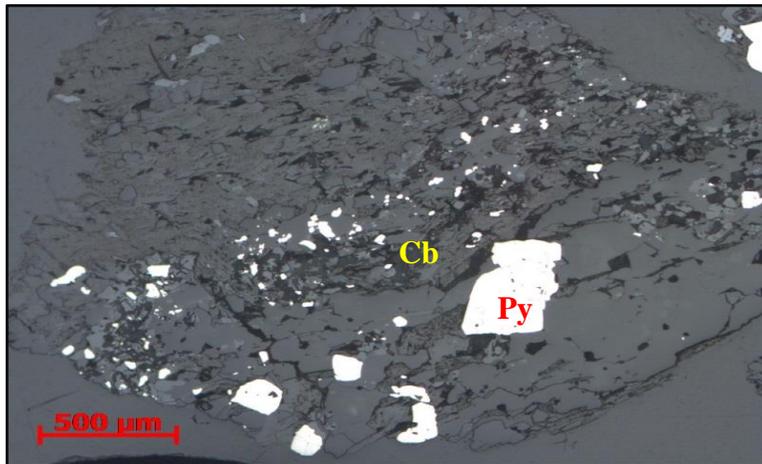
Figure 4-10 : Photos de carottes de forages - Dacites, tufs et intrusions dacitiques, minéral (Unité 4A)



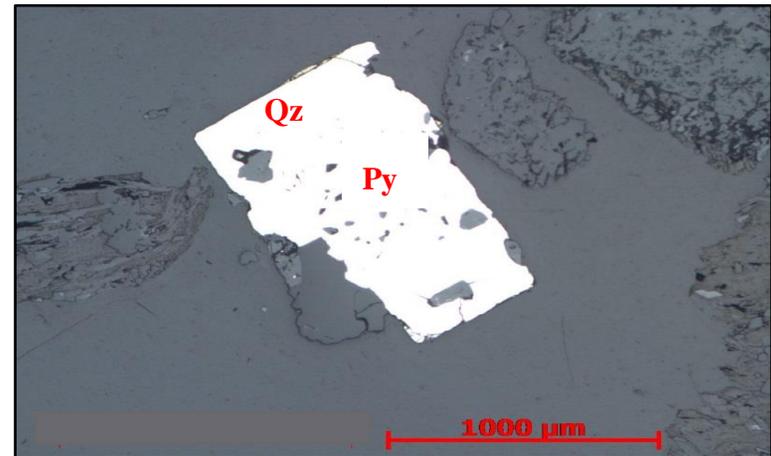
a) AKA14 ENV-004 (Dacite, minerai)



b) AKA14 ENV-004 (Pyrite, chalcopyrite et digenite (Dg))

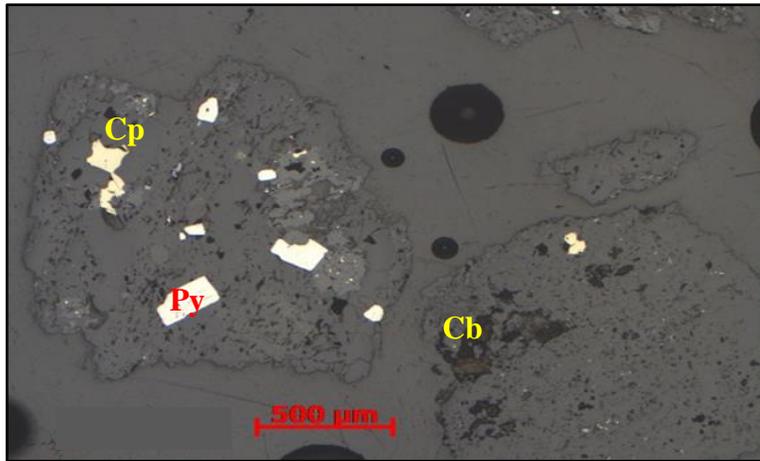


c) AKA14 ENV 004 (Pyrite et carbonate)

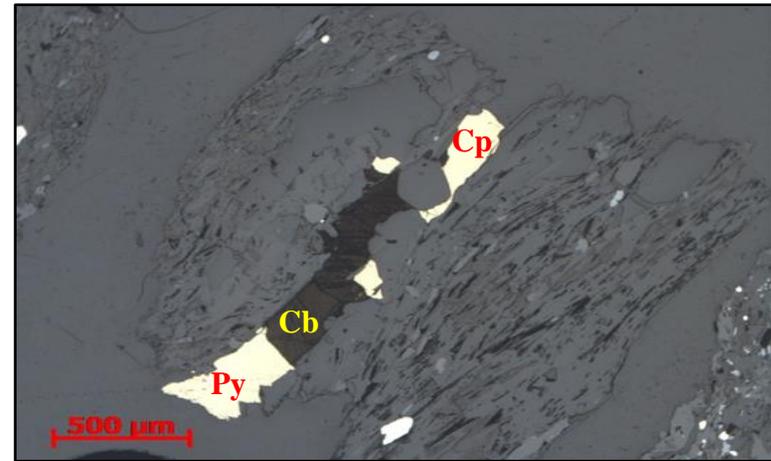


d) AKA14 ENV-004 (Quartz (Qz) dans une pyrite)

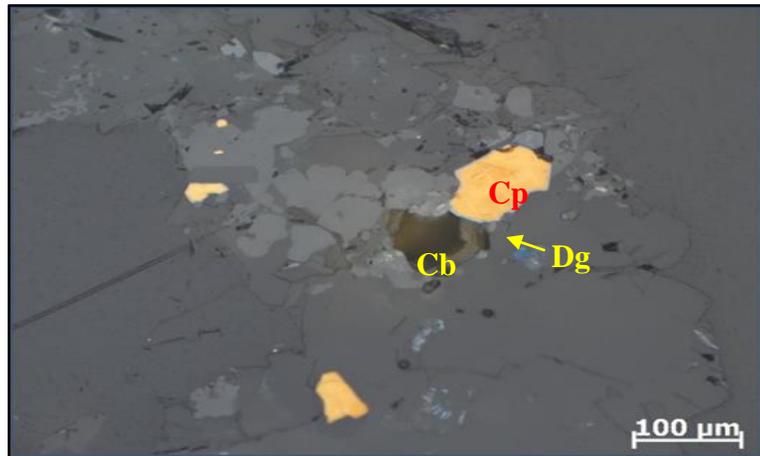
Figure 4-11 : Micrographies optiques en réflexion – Dacites, intrusions dacitiques, minerai (Unité 4A)



e) AKA14 ENV-064 (tuf dacitique stérile)



f) AKA14 ENV-064 (pyrite, chalcopyrite et carbonate)



g) AKA14 ENV-033 Intrusion dacitique (chalcopyrite, digenite)

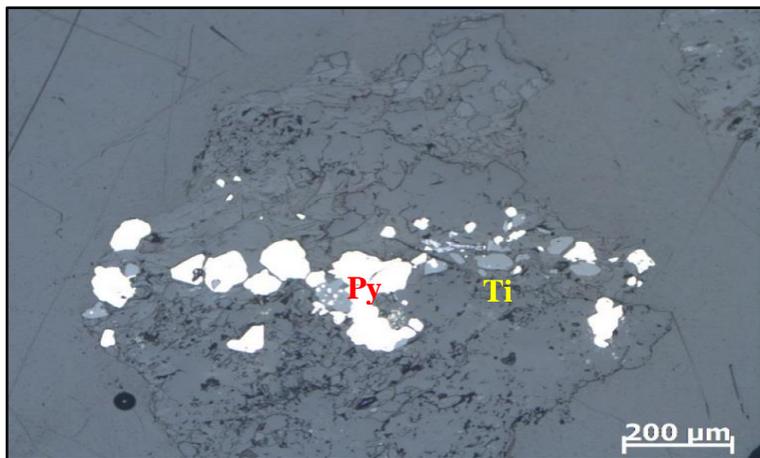
Figure 4-11 (suite) : Micrographies optiques en réflexion –Tufs dacitiques stériles (unité 4A)

Les grains de chalcopryrite (20 à 600 μm) sont de forme xénomorphe à subautomorphe (Figures 4-11 a, b, e, f et g) et ont été observés dans toutes les sections. Les chalcopryrites se présentent sous a) forme disséminée dans la matrice de silicates, b) en remplissage d'interstice et c) en fines inclusions ($< 5\mu\text{m}$) dans des grains de pyrite. Les chalcopryrites sont parfois observées en contact avec de la pyrite (Figures 4-11 a et b) mais sont généralement isolées dans la matrice silicatée (quartz, plagioclase, épidote et phyllosilicates). Plusieurs grains présentent une frange d'altération de couleur bleutée composée de digénite (AKA ENV-004 et AKA ENV-033) surtout présente au contact entre la chalcopryrite et les minéraux silicatés, mais absente au contact avec la pyrite. Lorsque la digénite est observée, les grains de chalcopryrite présentent une coloration de couleur jaune-or possiblement associée à une altération et/ou corrosion de leurs surfaces (Figures 4-11 b et g). La digénite remplace totalement la chalcopryrite sur les grains de petites dimensions. De la pyrrhotine (10 à 100 μm) est observée dans l'échantillon de minerai (AKA ENV-004). La pyrrhotine contient quelques inclusions de chalcopryrite et de pyrite ainsi qu'un minéral gris foncé. Certains grains sont caractérisés par une mince frange d'altération de couleur gris foncé.

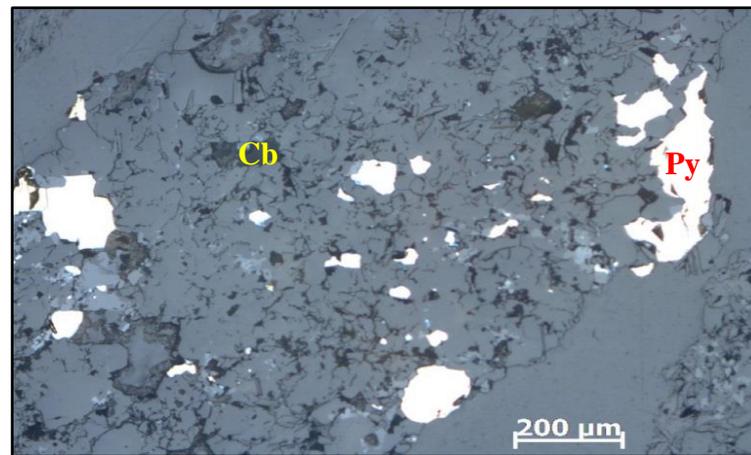
Les principales phases d'oxydes reconnues sont la magnétite et le rutile. Les grains de rutile (10 à 40 μm) sont généralement disséminés et de formes xénomorphes à automorphe (aciculaire). Ils sont caractérisés par une réflexion interne caractéristique avec des teintes violacées et rouge brunâtre. De 1% à 2% de carbonates de couleur brun moyen à foncé sont observés en sections polies. Ces carbonates sont disséminés dans les fragments de roche et sont localement observés en contact avec des sulfures (Figures 4-11 f et g).

Les andésites alcalines (Unité 4B)

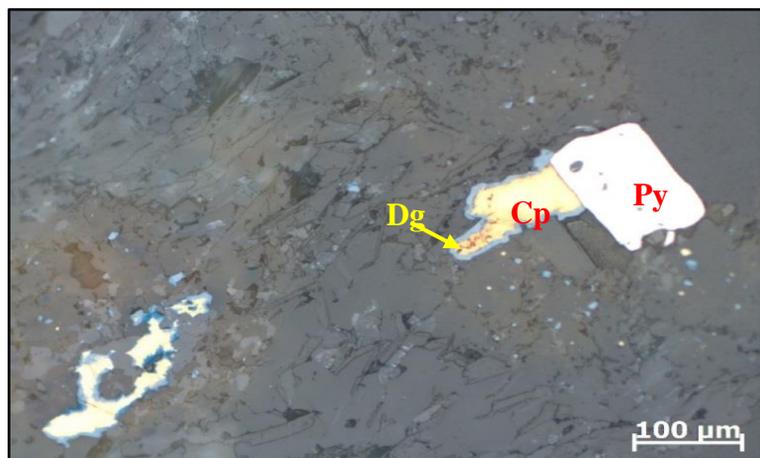
Les principales caractéristiques minéralogiques de l'unité 4B sont basées sur l'échantillon AKA14-ENV-067 qui correspond à un tuf de composition dacitique. Les tufs sont finement grenus (0,1 à 0,5 mm), de couleur gris pâle à moyen et recoupés par une schistosité faiblement à modérément pénétrative. Ils sont principalement composés de quartz, chlorite et séricite avec des traces de pyrite et de chalcopryrite sous forme disséminée ainsi que sous forme de très minces filons localisés entre les plans de schistosité. Une certaine portion des minéraux sulfurés présente une altération de couleur bleutée à bronzée iridescent.



a) AKA14 ENV-067 (Pyrite et titanite (Ti))



b) AKA14 ENV 067 (pyrite et carbonates)



c) AKA14 ENV-067 (Pyrite, Chalcopyrite, Digenite)

Figure 4-12 : Micrographies optiques en réflexion - Andésites alcalines (unité 4B)

L'étude de la section polie indique que les pyrites sont de formes subautomorphes à automorphes avec des dimensions allant de 5 à 300 μm (Figures 4-12 a à c). Les surfaces des grains de pyrite sont généralement non fracturées et non altérées. Les pyrites peuvent contenir des inclusions d'un minéral gris foncé (silicate) et de chalcoppyrite. Selon la dimension des grains, l'échantillon AKA14-ENV-067 semble composé de deux types de chalcoppyrite. Le premier type est de forme xénomorphe à subautomorphe et la dimension varie de 200 à 600 μm . Ce type de chalcoppyrite est caractérisée par un remplacement, au pourtour des grains, de la chalcoppyrite par de la digénite de couleur bleutée (Figure 4-12 c). Comme pour certaines chalcoppyrites de l'unité 4A, ce type d'altération est présent principalement au contact entre la chalcoppyrite et les silicates. Aucun remplacement de la chalcoppyrite par la digénite n'est observé lorsque la chalcoppyrite est en contact avec la pyrite. Le second type de chalcoppyrite est de forme xénomorphe avec une dimension inférieure à 40 μm . Ces grains sont partiellement à totalement remplacés par de la digénite. Certaines chalcoppyrites sont altérées et leurs surfaces présentent une zonation passant de jaune au centre à une couleur or près des bordures des grains pour se terminer par une frange de digénite entourant totalement le grain (Figure 4-12 c).

La principale phase oxyde reconnue est de la titanite de forme xénomorphe à automorphe de forme prismatique. La dimension des cristaux de titanite varie de 20 à 400 μm (Figure 4-12 a) et certains peuvent contenir de fines inclusions d'un minéral de couleur gris moyen ainsi que des inclusions de chalcoppyrite et de pyrite. Certains cristaux de titanite présentent des lamelles d'exolution (ilménite ?). Un second minéral de la classe des oxydes (rutilé ?) est également reconnu sur certains fragments. Il est de forme lamellaire ou hexagonale et sa dimension est inférieure à 40 μm . Des carbonates sous forme disséminée et qui sont semblables à ceux reconnus dans les unités précédentes sont également reconnus sur quelques fragments (Figures 4-12 b et c).

Les dacites, tufs dacitiques et intrusions dacitiques (Unité 5A)

La synthèse des principales caractéristiques pétrographiques des volcanites et des roches intrusives de l'unité 5A est basée sur les observations d'échantillons de forage et de deux échantillons nommés initialement tuf minéralisé (AKA14 ENV-003; stérile) et dacite 3 (AKA14 ENV-035; minéral). Les échantillons de volcanite de l'unité 5A sont très finement grenue (0,1 à 0,5 mm) et de couleur gris vert pâle (Figure 4-13 a). Ils se composent de quartz, de chlorite et de séricite ainsi que de 3 % à 5 % de pyrite xénomorphe à automorphe (cubique) disséminée et moins de 1 % de

chalcopyrite xénomorphe de 1 à 5 mm. Les roches intrusives sont à texture porphyrique et composées de microphénocristaux de quartz et d'amphibole et de phénocristaux de quartz (Figure 4-13 b).

L'étude des sections polies indique que les grains de pyrite se présentent sous forme disséminée ou en amas dans les fragments de roche. Certains grains sont également observés sous forme libre dans la résine. Les pyrites sont de forme subautomorphe à automorphe (cubique et losangique) et leurs dimensions varient de 20 μm à 500 μm (Figures 4-14 a, b et c). Certains grains de pyrite peuvent même atteindre 2 mm. Quelques cristaux de pyrite contiennent des inclusions d'un minéral de couleur gris brunâtre en lumière naturelle ainsi que de rutile caractérisé par des teintes allant de rouge à bleuté iridescent. Les deux échantillons contiennent également des cristaux de forme xénomorphe à subautomorphe de chalcopyrite dont la dimension varie de 30 à 400 μm . Les grains de chalcopyrite sont disséminés à l'intérieur des fragments et sont parfois en fines inclusions ou sont localisés dans les fractures recoupant la pyrite. On observe également quelques amas de chalcopyrite (Figure 4-14 c).

La titanite (10 μm à 200 μm) est observée en plusieurs endroits dans l'échantillon AKA14 ENV 035 et se présente sous forme xénomorphe de couleur gris pâle en lumière naturelle. Elle est généralement disséminée dans la matrice silicatée ainsi que parfois en contact avec les grains de pyrite (Figure 4-14 b). Le rutile constitue également l'une des phases d'oxydes présentes sous formes xénomorphes à automorphe (aciculaire) et dont la dimension des grains varie de 10 à 40 μm . Comme pour les échantillons des autres unités précédentes, des carbonates de couleur brun clair à moyen et de couleur brun foncé sont reconnues dans plusieurs fragments. Les carbonates sont disséminés dans la matrice silicatée (Figure 4-14 a) ou peuvent se présenter sous forme d'amas (Figure 4-14 d).

Les andésites alcalines et tufs andésitiques alcalins (Unité 5B)

Les compositions minéralogiques des volcanites et volcanoclastites de l'unité 5B proviennent des observations de sept échantillons de laves dacitiques (AKA ENV-029, AKA ENV-047, AKA ENV-051, AKA ENV-053, AKA ENV-075, AKA ENV-076 et AKA ENV-077). Les observations macroscopiques indiquent que les dacites et les tufs dacitiques sont de couleur gris pâle à vert pâle et leur granulométrie varie d'aphanitique à finement grenue. Les principaux silicates reconnus dans les fragments de roches sont le quartz, la séricite et la chlorite et leurs dimensions est ≤ 1 mm.

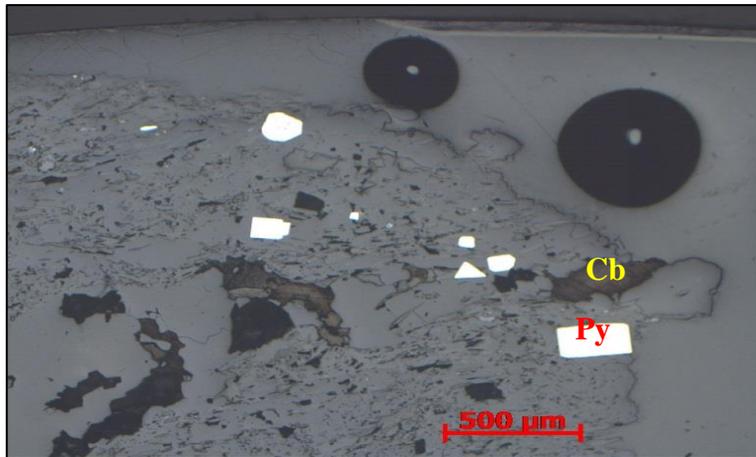


a) 164-14-006 (Tuf à cendre dacitique, Unité 5A)

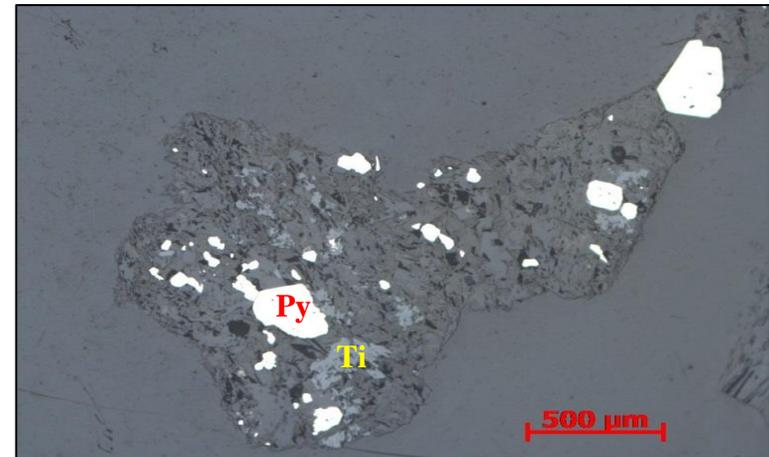


b) 164-14-004 (Intrusion porphyrique Quartz-Amphibole, Unité 5A)

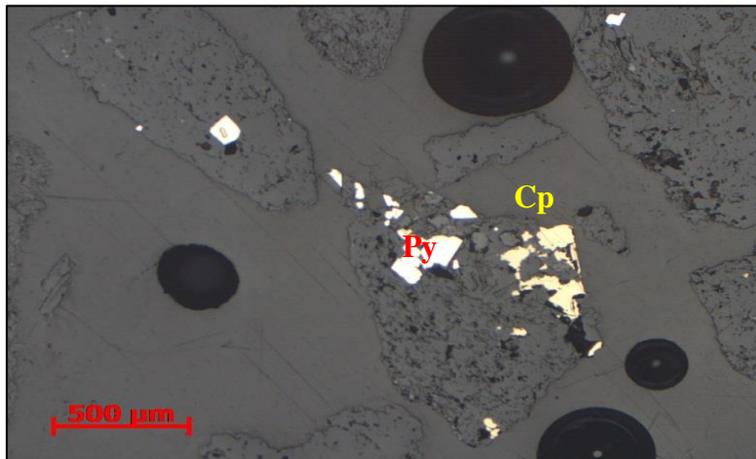
Figure 4-13 : Photos de carottes de forages - Tuf dacitique et d'une intrusion porphyrique



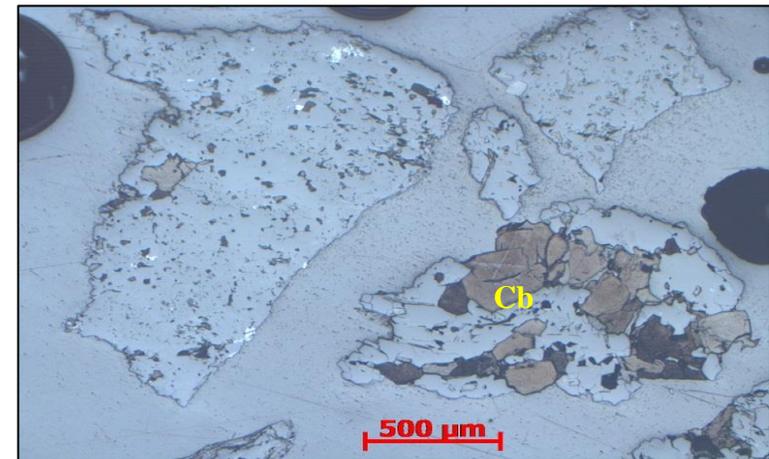
a) AKA14 ENV-035 (Pyrite et carbonate disséminés)



b) AKA14 ENV-035 (pyrite et titanite disséminées)



c) AKA14 ENV-035 (amas de sulfures)



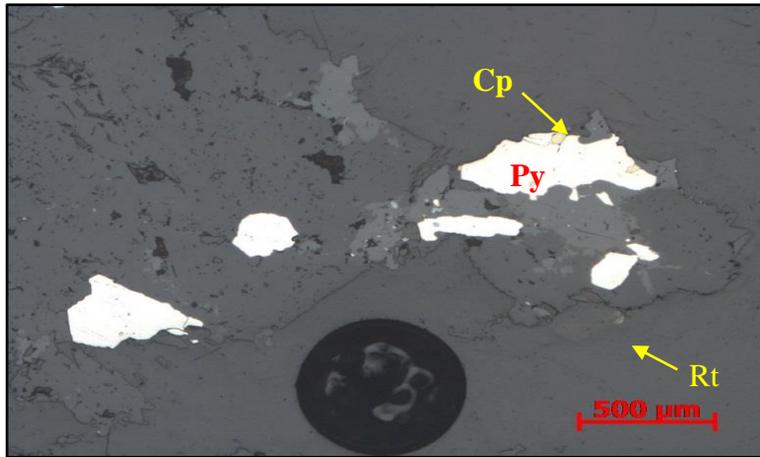
d) AKA14 ENV-035 (amas de carbonate)

Figure 4-14 : Micrographies optiques en réflexion – Dacite type #2 (Unité 5A)

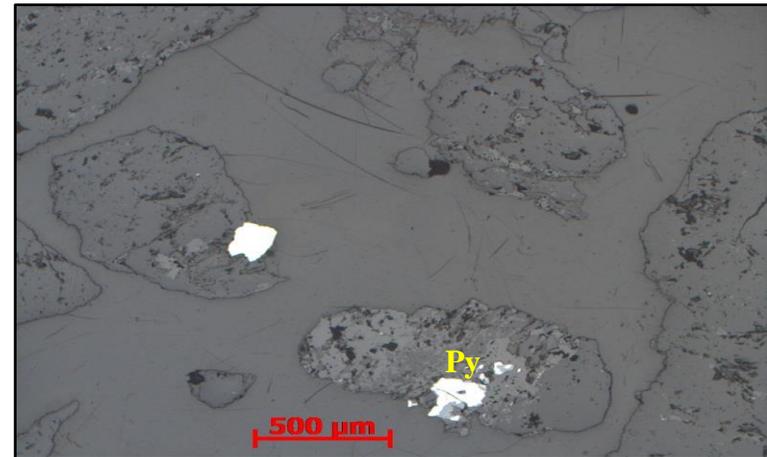
Les phases sulfurées sont principalement composées de traces à 5 % de pyrite et de chalcopryrite dont la dimension peut atteindre 2 mm. Ces sulfures se présentent sous forme disséminée ainsi qu'en amas localisés dans les plans de schistosité. Les échantillons de forages indiquent que la pyrite (0,1 à 2 mm) est subautomorphe à automorphe (cubique). La dimension des pyrites cubiques varie de 1 à 2 mm. Dans quelques échantillons, certains grains de pyrite montrent une altération partielle ou totale de leurs surfaces caractérisée par une couleur violacée. Les grains de chalcopryrite sont xénomorphes et leurs dimensions varient de 100 à 200 μm .

L'étude des sections polies confirme que les phases minérales sulfurées correspondent à de la pyrite, de la chalcopryrite et parfois de la pyrrhotine. La pyrite constitue la phase dominante dans tous les échantillons alors que la chalcopryrite n'est présente que sous forme de traces. Les grains de pyrite sont de forme xénomorphe à automorphe (cubique et pyritohédrique). La dimension des grains subautomorphes et automorphes varie de 50 μm à 2 mm (Figure 4-15 a) alors que celle des grains xénomorphes varie de 5 μm à 40 μm (Figure 4-15 c) alors que celle des grains. Ces grains sont disséminés dans la matrice de silicates ainsi qu'en bordure des fragments de roches. Des grains grossiers de pyrite sont également observés sous forme libre dans la résine des sections polies. Des cristaux de pyrite grossière contiennent des inclusions ($\leq 80 \mu\text{m}$) d'un minéral gris moyen à foncé et (silicate) et de chalcopryrite (Figure 4-15 a). La pyrrhotine sous forme disséminée est observée dans les échantillons AKA 14-029, 047 et 053 et sa proportion peut atteindre 2 %. Les cristaux de pyrrhotine ($\leq 200 \mu\text{m}$) sont xénomorphes à automorphes (tabulaire et/ou hexagonale). Ils contiennent rarement de très fines inclusions de pyrite. Les cristaux de chalcopryrite sont xénomorphes à subautomorphes et leurs dimensions varient de 2 à 200 μm . Les cristaux sont généralement disséminés ou parfois agglomérés dans la matrice silicatée.

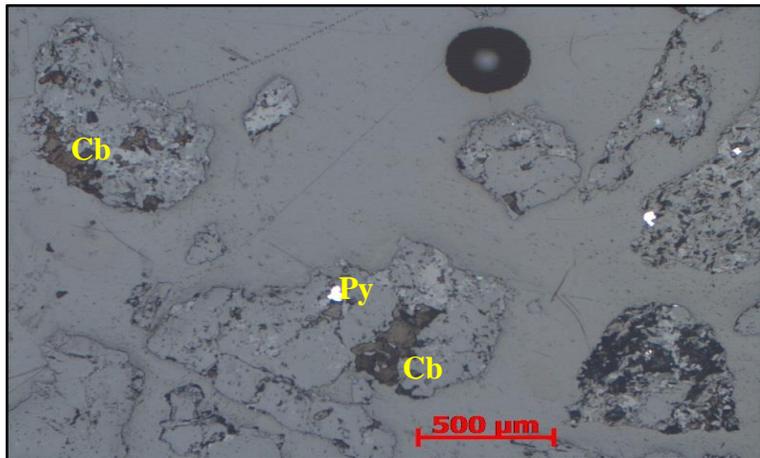
Les principales phases de la classe des oxydes identifiées en sections polies sont le rutile (Figure 4-15 a) alors que la magnétite et l'ilménite sont reconnues dans quelques échantillons. Les cristaux de rutile (10 à 50 μm) sont xénomorphes à automorphe (aciculaire) et disséminés dans les silicates. Ils sont caractérisés par une forte réflexion interne de couleur brunâtre à rougeâtre. Les magnétites sont xénomorphes et leur dimension peut être inférieure à 10 μm . Comme pour la plupart des unités décrites précédemment, les carbonates sont également observés sous forme disséminée ou agglomérée dans la matrice silicatée des dacites alcalines de l'unité 5B (Figure 4-15 c). Ils sont parfois en contact avec les sulfures.



a) AKA14 ENV-053 (Pyrite, chalcopyrite, rutile (Rt))



b) AKA14 ENV 053 (Inclusion dans Pyrite)



c) AKA14 ENV-053 (Carbonates)

Figure 4-15 : Micrographies optiques en réflexion – Andésites alcalines type 2 (Unité 5B)

4.1.2.2 Compositions normatives des minéraux

L'approche de la projection graphique utilisée à la section 4.1.1.2 avait comme objectif d'obtenir une information préliminaire de la composition minéralogique des différents faciès d'altération hydrothermale. La composition de ces faciès est cependant limitée à 9 phases minérales qui sont caractérisées par les éléments chimiques intégrés dans les équations de calculs des indices AI et CCPI. Comme certains éléments majeurs tels le SiO_2 , Al_2O_3 et TiO_2 ne sont pas pris en considération dans ces équations, certains minéraux souvent présents en quantité importante dans divers types de lithologies ne peuvent être intégrés dans les paragenèses minéralogiques (ex. le quartz). Dans d'autres cas, les équations du diagramme «Box Plot» ne pourront déterminer lequel des composants d'une série minérale est présent dans un échantillon (ex. la série des plagioclases). Il en est de même avec l'utilisation des teneurs en C_{total} et S_{total} . Les résultats présentés à la section 4.1.1.3. ne permettent d'obtenir qu'une évaluation semi-quantitative de la quantité de carbonates et/ou des sulfures présents dans un échantillon, sans toutefois identifier et déterminer précisément lequel ou lesquels des minéraux de ses deux classes est présent et en quelle proportion.

Il est possible d'améliorer la connaissance de la composition minéralogique d'un échantillon et par le fait même d'obtenir avec une meilleure précision des différentes proportions de phases minérales primaires et secondaires qui composeront les différents assemblages de lithologies. Il existe actuellement certains logiciels permettant de calculer la composition minéralogique normative de minéraux primaires et secondaires à partir de la composition géochimique en éléments majeurs, en certains métaux (Cu, Cr, Ni, Mo, Pb, Zn, As) ainsi qu'en composés volatils (H_2O^+ , H_2O^- , PAF, C_{total} , S_{total}) d'un échantillon. Leur utilisation et les calculs réalisés permettent de quantifier plus de 30 phases minérales incluant les oxydes de Fe-Ti, les différents types de carbonates, certains sulfures et l'anhydrite. Pour la caractérisation environnementale présentée dans cette section, nous utiliserons la norme CONSONORM LG du logiciel Lithomodeleur (Trépanier *et al.*, 2015) en sélectionnant le faciès des schistes verts pour une température de métamorphisme de 350°C et ce pour chacune des unités lithologiques. Ce faciès est sélectionné selon les informations obtenues de la littérature (Scott *et al.*, 2002). Pour le protocole de caractérisation géoenvironnementale à la phase de l'exploration, les résultats obtenus des compositions normatives de minéraux ont été comparés aux compositions des faciès d'altération hydrothermale (section 4.1.1.2.) ainsi qu'aux observations pétrographiques (section 4.1.2.). Ces comparaisons ont permis de faire une première

estimation quantitative des phases minérales qui caractérisent chacune des unités lithologiques. Ces connaissances sont essentielles pour connaître les principaux minéraux qui agissent comme phase acidifiante et neutralisante d'un drainage minier acide ou comme source de métaux potentiellement toxiques pour l'environnement.

Les basaltes andésitiques (Unité 1)

Le tableau et les diagrammes présentés à l'annexe D indiquent les variations des proportions de minéraux normatifs silicatés en fonction de l'indice d'altération AI (Large *et al.*, 2001). Pour les basaltes andésitiques, les minéraux normatifs dominant pour les indices AI situés entre 9 et 30 sont l'épidote, la calcite, les amphiboles et les plagioclases (variété albite). Les phases normatives obtenues sont conformes avec celles identifiées visuellement ainsi qu'avec les interprétations du diagramme d'altération de la figure 4-6A indiquant que les échantillons se projettent vers les pôles épidote et carbonates (calcite et dolomite). D'autres phases minérales normatives sont présentes en plus faibles proportions (Tableau 4.5) dont l'orthose (0,4 à 6,9 %), la titanite ($\leq 2,5$ %) et l'hématite ($\leq 2,7$ %). De faibles quantités de rhodocrosite ($\leq 0,34$ %), de pyrite ($\leq 0,9$ %) et de chalcopryrite ($\leq 1,7$ %) normatives ont également été calculées dans la plupart des échantillons. Quelques échantillons indiquent également la présence de quartz et de magnétite ($\leq 3,7$ %) normatifs ce qui est en accord avec les observations de carottes de sondages qui indiquent que la magnétite est omniprésente avec l'épidote dans les basaltes andésitiques. Avec l'augmentation de l'indice AI de 32 à 58, on note une diminution progressive de la proportion d'épidote et de calcite normatives couplée à une augmentation des quantités d'albite et de chlorite normatives. Les proportions de pyrite et chalcopryrite calculées sont presque nulles.

Les basaltes ferro-titanifères (Unité 2)

Comme la classification lithogéochimique a été réalisée après la sélection des 21 échantillons, aucun échantillon basaltes ferro-titanifères n'a été décrit macroscopiquement. La composition minéralogique des échantillons de cette unité ne sera décrite que sur la base des compositions en minéraux normatifs (Tableau 4.5; Annexe D). Les échantillons caractérisés par un indice AI de 20 à 25 contiendraient de 33 % à 40 % d'amphibole normative et d'environ 28 % à 34 % de plagioclase (albite). Les minéraux secondaires correspondent à l'épidote (17 % à 20 %) et la calcite à moins de 6 %. Ces résultats sont conformes avec les interprétations présentées à la section 4.1.1.2 sur les

Tableau 4.5 Composition en minéraux normatifs des unités lithogéochimiques

Minéral	Unité 1 (%)	Unité 2 (%)	Unité 3 (%)	Unité 4A Volcanite (%)	Unité 4A Intrusion (%)	Unité 4B (%)	Unité 5A Volcanite (%)	Unité 5A Intrusion (%)	Unité 5B (%)
Quartz	0 - 15	0 - 17	0 - 29	11 - 53	0,7 - 72	16 - 33	14 - 48	5 - 38	11 - 46
Albite	3,8 - 29	16 - 34	6 - 47	1,6 - 48	0,7 - 54	29 - 55	2,5 - 51	5,4 - 58	14 - 56
Orthose	0,4 - 6,9	0,9 - 12	1,5 - 56	0 - 34	1,4 - 32	0 - 9,2	0 - 19	0 - 36	0 - 21
Trémolite	2,1 - 32	3 - 18	0 - 7,8	0 - 6,6	0 - 13		0 - 8,1	0 - 5	
Fe-Actinote	11 - 24	4,7 - 23	0 - 14	0 - 18	0 - 5,4		0 - 3,4	0 - 3,4	
Amphibole Tot	3,6 - 50	7,6 - 41	0 - 18	0 - 24	0 - 18		0 - 12	0 - 8,4	
Séricite			0 - 3,1	0 - 22	0 - 17	2,3 - 21	0 - 38	0 - 34	0,8 - 28
Chlorite-Mg	0 - 21	0 - 8,7	0 - 8,6	0 - 14	1,9 - 26	4,7 - 7,6	1,9 - 8,8	1,7 - 9,8	2,1 - 6,2
Chlorite-Fe	0 - 15,1	0 - 14,8	0 - 8,6	0 - 13,7	1,4 - 12,8	4,0 - 7,0	2,3 - 6,5	2,1 - 9,8	0 - 8,2
Chlorite Tot.	0 - 35,6	0 - 24	0 - 17	0 - 27	4,4 - 38	9,2 - 14	5,2 - 15	5,5 - 16	4,2 - 14
Épidote	12 - 41	12 - 20	11 - 35	0 - 16	0,1 - 15	0,1 - 12	0,1 - 15	0,1 - 25	0,5 - 16
Paragonite				0 - 4,7		0 - 0,7	0 - 4,5	0 - 7,1	0 - 10
Calcite	0 - 20	1,8 - 5,6	0 - 3,5	0 - 6,8	0 - 5,6	0 - 3,1	0 - 6,8	0 - 5	0 - 8,4
Dolomite							0 - 1,34		
Ankérite							0 - 2,19		
Magnésite							0 - 0,34		
Sidérite							0 - 0,54		
Rhodocrosite	0 - 0,34		0 - 0,16	0 - 0,13	0 - 0,16	0 - 0,08	0 - 0,08		0 - 0,07
Apatite	0,06- 0,19		0,13- 0,24	0,05- 0,85	0,17- 0,77	0,33- 0,49	0,16- 0,93	0,08- 0,91	0,11 - 0,3
Magnétite	0 - 3,7	0 - 5,3	0 - 3,2	0 - 3,7	0 - 1,5		0 - 2,0	0 - 2,8	
Hématite	0 - 2,7	0 - 2,5	0 - 1,3	0 - 1,8	0 - 2,0	0,6 - 1,0	0 - 1,2	0 - 1,5	0 - 1,3
Ilménite		0 - 4,2	0 - 1,1	0 - 1,4	0 - 0,9		0 - 0,7		
Titanite	0 - 2,5	0 - 5,7	0 - 1,3	0 - 2,5	0 - 1,5	0,7 - 1,6	0 - 0,9	0 - 1	0,5 - 1,1

Tableau 4.5 Composition en minéraux normatifs des unités lithogéochimiques (suite)

Minéral	Unité 1 (%)	Unité 2 (%)	Unité 3 (%)	Unité 4A Volcanite (%)	Unité 4A Intrusion (%)	Unité 4B (%)	Unité 5A Volcanite (%)	Unité 5A Intrusion (%)	Unité 5B (%)
Chromite					0 - 0,1				
Rutile				0 - 0,6	0 - 0,1			0 - 0,4	
Pyrite	0 - 0,9	0 - 0,5	0 - 3,2	0 - 4,9	0 - 0,8	0 - 1,6	0 - 3,8	0 - 0,9	0 - 7,5
Chalcopyrite	0 - 1,7	0 - 1,1	0 - 0,4	0 - 5,2	0 - 4,1	0,1 - 0,7	0 - 3,7	0 - 2,1	0 - 0,8
H ₂ O Norme	1,34- 4,66	1,09- 3,02	0,52- 2,61	0,54- 3,33	0,95- 4,89	1,47- 2,31	1,28- 2,42	1,04- 2,59	0,93- 3,16
CO ₂ Norme	0,01 - 9,1	0,01 - 1,5	0,01 - 1,6	0,01 - 3,3	0,1 - 2,5	0,01 - 1,4	0,01 - 3,0	0,01 - 2,2	0,01 - 3,7

basaltes ferro-titanifères, sur la base des concentrations en CaO ainsi qu'en C_{total} . La proportion d'oxydes de Fe-Ti normatifs (magnétite, hématite et ilménite) varie de 2,2 % à 8,6 % alors que celle de titanite normative est inférieure à 5,7 %. Les échantillons contiennent des traces de pyrite et moins de 1,1 % de chalcopryrite normatives.

Comparativement aux échantillons précédents, celui possédant un AI de 50 serait caractérisé par un enrichissement en chlorite (24 %), en quartz (17 %) ainsi qu'en orthose (12 %) normatifs couplé à un appauvrissement en albite (17 %), en amphibole (8 %) ainsi qu'en épidote (12 %). La calcite normative serait absente pour cet échantillon. La proportion d'oxydes de Fe-Ti est de 9,5 % étant principalement caractérisée par la magnétite et l'ilménite normatives. La quantité de chalcopryrite normative est de 1,1 % alors que la pyrite est absente.

Les andésites (Unité 3)

Les andésites ont été initialement subdivisées en quatre faciès (section 4.1.1.2.) comprenant un faciès d'andésites peu altérées caractérisées par un AI de 21 à 30 et trois faciès altérés dont les indices AI varient de 9 à 20 et de 55 à 67. Les résultats obtenus des proportions de minéraux normatifs nous permettent de regrouper ces faciès en deux catégories. La première catégorie comprend les échantillons d'andésites, dont les indices d'altération (AI) compris entre 10 et 30. Pour ces andésites, les principales phases primaires calculées sont l'amphibole ($\leq 18\%$), l'albite (12 % à 47 %), la titanite ($\leq 1,3\%$) et de faibles proportions d'apatite ($\leq 0,24\%$). Les diagrammes de l'annexe D indiquent que les phases secondaires normatives associées à cet intervalle d'indices d'altération sont le quartz ($\leq 29\%$), l'épidote (11 % à 35 %), la chlorite ($\leq 17\%$), l'orthose ($< 25\%$) et moins de 4% de calcite. De la magnétite ($\leq 1,3\%$) et de l'ilménite ($\leq 1,1\%$) normative sont également présentes dans les échantillons (Tableau 4.5; Annexe D). La présence de ces phases serait conforme à la projection vers l'axe épidote/calcite et albite du diagramme de la figure 4-6A pour des valeurs d'indice CCPI comprises entre 50 et 70. Les observations macroscopiques indiquent que les échantillons sont caractérisés par une altération silicatée (quartz) ainsi qu'une épidotisation d'intensité faible à modérée. Quelques microphénocristaux de quartz sont observés dans un échantillon.

Avec l'augmentation de l'intensité de l'altération, on observe une diminution de proportion d'albite (6 % à 19 %) qui pourrait être associée à une augmentation d'orthose normative (37 % à 51 %) alors que la séricite est presque absente. On observe également une diminution d'épidote normative

(11 % à 15 %) alors que la proportion de chlorite est inférieure à 15 %. Ces observations sont conformes avec celles tirées de la figure 4-6A indiquant une projection des échantillons vers l'axe chlorite – séricite - orthose avec une augmentation des indices AI entre 55 et 68. Les andésites contiennent de traces à 3 % de pyrite ainsi que des traces de chalcopryrite ($\leq 0,4$ %).

Les dacites, tufs dacitiques, intrusions dacitiques et QFP (Unité 4A)

Les résultats des calculs de la composition en minéraux normatifs de 104 échantillons de roches volcaniques et intrusives associés à l'unité 4A sont présentés au tableau 4.5. Pour les volcanites et les tufs dacitiques, les principales tendances observées avec l'augmentation de l'indice d'altération AI consistent en : a) une diminution progressive des proportions d'albite normative qui serait couplée à une augmentation de l'orthose normative, b) une diminution des proportions d'épidote et de calcite normatives et c) une augmentation des quantités de magnétite et de chalcopryrite normatives (annexe D). Les proportions de chlorite et séricite sont inférieures à 20 % et demeurent relativement constantes pour les volcanites et les tufs. Les résultats et les interprétations obtenus des calculs de minéralogie normative sont compatibles avec ceux présentés dans le diagramme d'altération de la figure 4-6C. Ces derniers résultats indiquent que la majorité des échantillons s'éloignent du lien reliant les pôles épidote/calcite - albite pour se projeter vers le côté droit du diagramme et le lien entre les pôles chlorite/pyrite - séricite - orthose. Les résultats des compositions en minéraux normatifs permettent également de regrouper les quatre assemblages minéralogiques présentés au tableau 4.3 en deux principaux faciès d'altération. Selon les diagrammes de l'Annexe D, le premier faciès comprend les échantillons dont l'indice AI est compris entre 28 à 58 et est caractérisé par la présence de quartz (11 % à 53 %), albite (17% à 48 %), chlorite, orthose (≤ 24 %), séricite, épidote (≤ 15 %) et calcite (≤ 7 %) et ≤ 1 % de chalcopryrite. Le second faciès comprend les échantillons possédant un indice AI allant de 56 à 86 et caractérisés par le quartz (20 % à 53 %), l'orthose (≤ 34 %), l'albite (8 % à 28 %), la séricite, la chlorite, l'épidote (≤ 6 %), la calcite (< 3 %), la magnétite (≤ 4 %) et la chalcopryrite (≤ 5 %). La séricite et la chlorite sont présentes dans les deux faciès avec des proportions respectivement inférieures à 22 % et 25 %.

Les roches intrusives présentent des variations des proportions de certains minéraux normatifs qui sont similaires à celles obtenues avec les dacites et tufs dacitiques (Annexe D). Avec l'augmentation de l'indice AI, on observe : a) une diminution progressive des proportions d'albite

couplée à une augmentation de séricite, b) une diminution moins prononcée, mais également progressive d'épidote et de calcite normatives et c) une augmentation des proportions de chalcopryrite normative. Les proportions de quartz, d'orthose et de chlorite ne présentent pas de variations significatives avec l'augmentation de l'indice AI. De plus, les variations des quantités d'amphiboles sont possiblement associées à la présence de microphénocristaux.

Le tableau 4.3 propose une subdivision en trois assemblages minéralogiques pour les intrusions porphyriques et en deux assembles pour les intrusions dacitiques (diorite). Les résultats obtenus des calculs de minéraux normatifs nous permettent de conserver sensiblement les mêmes assemblages. Seuls les assemblages dont les indices d'altération AI sont compris entre 46 et 80 ont été regroupés pour ne faire qu'un seul faciès d'altération caractérisé par des proportions distinctes d'albite (1 % à 40 %), d'orthose (5 % à 32 %), de séricite (1 % à 17 %), d'épidote (≤ 7 %), de calcite (≤ 1 %), et de chalcopryrite (0,1 % à 4 %).

Les andésites alcalines et tufs andésitiques alcalins (Unité 4B)

Les principales phases primaires calculées pour les dacites alcalines correspondent à de l'albite (29 % à 55 %) et le quartz (Tableau 4.5; Annexe D). Avec l'augmentation de l'indice AI, on observe : a) une diminution progressive des proportions d'albite couplée à une augmentation des quantités de séricite, b) une augmentation progressive des proportions de quartz et c) une diminution faible, mais progressive, des proportions d'épidote et de calcite normatives. L'augmentation des quantités de quartz normatif serait associée à une silicification des volcanites. Pour les échantillons dont l'indice AI se situent entre 38 et 58, cette silicification serait couplée à la séricitisation pour former une altération de type quartz-séricite caractéristique du second assemblage minéralogique (Tableau 4.3). Les quantités de chlorite normatives (10 %) ne subissent aucune variation notable avec l'augmentation de l'indice AI. Les principales phases d'oxydes et de sulfures identifiées sont l'hématite (0,5 % à 1 %) normative de même que la pyrite (≤ 2 %) et la chalcopryrite (0,1 % à 0,7 %). Les résultats des calculs de minéraux normatifs sont conformes aux observations macroscopiques et microscopiques.

Les dacites, tufs dacitiques et intrusions dacitiques (Unité 5A)

Le tableau 4-5 indique que les compositions et les proportions des minéraux normatifs des volcanites et des tufs dacitiques ainsi que des intrusions dacitiques porphyriques de l'unité 5A sont

relativement similaires. Les principaux minéraux normatifs primaires sont l'albite (3 % à 58 %), le quartz (5 % à 48 %) ainsi que des amphiboles (≤ 12 %) de types hornblende et actinote pour certains échantillons (Annexe D). Une certaine proportion de quartz normatif peut être associée au métamorphisme régional et/ou aux processus d'altération hydrothermale. Les minéraux primaires appartenant aux classes silicates et oxydes sont présents en faible proportion et correspondent à l'apatite ($\leq 0,9$ %), à la titanite (≤ 1 %), à la magnétite (≤ 3 %), à l'hématite (1,5 %), au rutile ($\leq 0,5$ %) ainsi qu'à l'ilménite ($\leq 0,6$ %).

Les différents diagrammes présentés à l'Annexe D indiquent que les échantillons de volcanites, volcanoclastites et d'intrusions de l'unité 5A sont principalement caractérisés par une altération de type quartz-séricite \pm chlorite. Cette altération est caractérisée par une augmentation des proportions de quartz normatifs et une altération des plagioclases de type potassique. L'altération potassique serait caractérisée par une réduction des proportions d'albite normative qui serait couplée à une augmentation des proportions de séricites et d'orthose normatives. Pour tous les échantillons de l'unité 5A, les proportions de chlorite normative demeurent sensiblement constantes à 10 % et ce quel que soit la valeur de AI. On observe également une diminution des proportions d'épidote normative pour devenir presque nulles pour des indices AI supérieures à 40 alors que la calcite ne présente aucune tendance bien définie, car des proportions quasi nulles sont observées et ce indépendamment de la valeur de AI. Les données du tableau de l'annexe D suggèrent une augmentation des proportions de chalcopirite normative avec l'augmentation de l'intensité de l'altération à quartz-séricite \pm chlorite. La tendance est moins précise pour la pyrite normative.

Le diagramme d'altération «Box Plot» (Figure 4-6D) confirmerait en partie les résultats des calculs normatifs indiquant que des échantillons se projettent vers le lien reliant la chlorite/pyrite à la séricite du côté droit de l'axe CCPI. Cependant, ce diagramme ne tient pas compte des concentrations en SiO₂ ce qui rend impossible d'évaluer la silicification des échantillons. Ces observations sont conformes aux résultats des calculs de minéraux normatifs.

Les andésites alcalines et tufs andésitiques alcalins (Unité 5B)

Les résultats de proportions de minéraux normatifs (Tableau 4-5; Annexe D) indiquent que les phases primaires des volcanites de l'unité 5B comprennent du quartz (11 % à 46 %), du plagioclase de variétés albite (14 % à 56 %) ainsi que de la titanite ($\leq 1,1$ %) et de l'apatite normative ($\leq 0,3$ %).

%). Le diagramme d'altération (Figure 4-6B) indique que la plupart des échantillons possèdent des indices AI allant de 15 à 30, ce qui correspondrait à des signatures minéralogiques et géochimiques primitives de roches très peu altérées. Avec l'augmentation de l'indice AI, les échantillons de l'unité 5B ont tendance à développer le même type d'altération à quartz-séricite-chlorite que les échantillons des unités 4A, 4B et 5A. Ce type d'altération est également marqué dans les diagrammes de l'Annexe D par une diminution progressive des proportions d'albite, d'épidote ($\leq 16\%$) et de la calcite normative. Une différence importante avec les échantillons des autres unités dacitiques consiste en la présence d'une proportion importante (traces à 10 %) de paragonite normative pour les échantillons considérés comme très peu altérés (Tableau 4-5). La paragonite est un mica sodique et sa présence dans les résultats de calculs normatifs peut correspondre à sa présence dans les échantillons de roche ou à un gain en excédentaire en Na des échantillons à la suite d'un processus d'altération hydrothermal. Bien que les proportions de pyrite et de chalcopryrite normatives soient relativement faibles pour l'ensemble des échantillons, environ 20 % de ceux-ci sont caractérisés par des proportions de pyrite normative allant de 0,5 % à 7,5 % (Annexe D).

4.1.3 Sélection d'échantillons représentatifs

Il est maintenant possible de sélectionner un certain nombre d'échantillons pour passer à l'étape de mise en valeur du protocole de caractérisation géoenvironnementale. Les échantillons choisis tiendront compte des résultats de caractérisation géochimique et minéralogique obtenus avec les différents paramètres compilés et/ou analysés lors des travaux entrepris pendant la phase exploration. Les échantillons sélectionnés devront être distribués sur l'ensemble du gisement comprenant le minerai et les stériles et couvrir le spectre des résultats obtenus pour les paramètres suivants :

- a) Représenter chacune des unités lithogéochimiques identifiées à l'étape 4.1.1.1.;
- b) Représenter chaque faciès minéralogique d'altération hydrothermale pour chacune de ces unités lithogéochimiques sur la base de la composition en minéraux normatifs;
- c) Couvrir les spectres des concentrations en C_{total} et des calculs des paramètres environnementaux basés sur le C_{total} et S_{total} pour chacun des faciès. Les résultats obtenus seront subdivisés en trois groupes selon leurs valeurs de PNN et de RPN;
- d) Couvrir le spectre des teneurs en métaux délétères pour chacun des groupes identifiés en c.

Ce protocole de sélection des échantillons diffère de certaines approches (Parbhakar-Fox et al., 2011) qui limitent seulement à l'étape #1, la caractérisation des échantillons dont les valeurs de PNN (≥ 20 kg CaCO₃/tonne) et de RPN (≥ 2). Ce choix demeure également valable même si certains échantillons présentent des valeurs de PNN et/ou de RPN suggérant que le risque de drainage minier acide est peu probable. Pour ces échantillons en particulier, nous préférons appuyer notre décision de stopper la poursuite de leur caractérisation sur la base de valeurs de PN, PA, PNN et RPN issues de différentes approches plutôt que sur les concentrations en C et S, en particulier si les résultats à la limite entre le risque peu probable et le risque incertain.

4.2 Caractérisation géoenvironnementale au stade de mise en valeur

Une évaluation détaillée des risques environnementaux sera nécessaire à la phase de mise en valeur d'un gisement afin de répondre aux exigences des agences gouvernementales et obtenir une première estimation des coûts reliés à la restauration du site minier et à la protection de l'environnement. Pour atteindre ces objectifs, le protocole de caractérisation géoenvironnementale (Figure 4.16) a pour objectif d'évaluer les principaux paramètres exigés par la Directive 019 (Québec MDDEP, 2012) sur les échantillons représentatifs sélectionnés à la fin de la phase exploration. Afin de rencontrer les exigences demandées par la Directive 019, une étude de caractérisation géochimique statique et cinétique du minerai, des roches stériles et des résidus a été réalisée sur des échantillons de la série AKA14-ENV du gisement Akasaba Ouest (Golder, 2015). Cette série comprend un total de 86 échantillons, dont 8 échantillons de basaltes andésitiques (unité 1), de 2 échantillons de basaltes ferro-titanifères (unité 2), de 11 échantillons d'andésites (unité 3), de 29 échantillons de dacites, tufs dacitiques et intrusions dacitiques porphyriques de type #1 (unité 4A), de 5 échantillons de dacites alcalines de type #1 (unité 4B), de 10 échantillons de dacite, tufs dacitiques et intrusions dacitiques porphyriques calco-alcalines de type #2 (unité 5A) et de 21 échantillons de dacites alcalines de type #2 (unité 5B).

Dans le contexte du projet de recherche, seuls les résultats des échantillons de la série AKA14-ENV ont été analysés pour les essais de lixiviation TCLP, SPLP, CTEU-9 de même que pour les essais statiques chimiques Acisol. Les analyses des teneurs en métaux de 281 échantillons ont été utilisées pour une première caractérisation du niveau de risque des résidus (stériles et minerai). Les

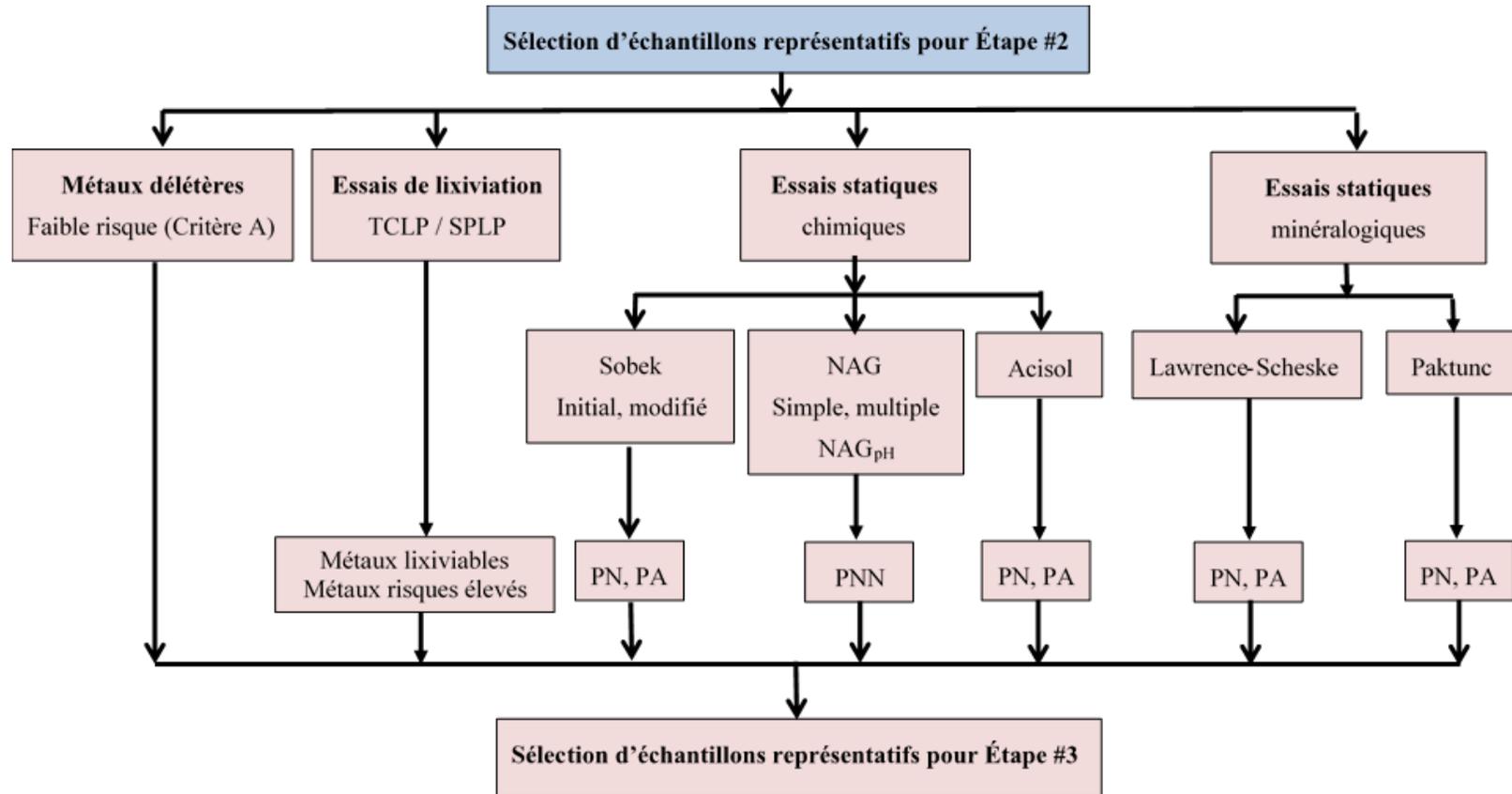


Figure 4-16 : Protocole de caractérisation géoenvironnementale - phase de mise en valeur

essais de lixiviation de courte durée sont utilisés pour déterminer les métaux qui sont lixiviables ainsi ceux qui pourraient représenter un risque élevé.

4.2.1 Évaluation des risques des résidus

Les teneurs en métaux disponibles dans les rapports d'exploration de surface et les journaux de sondages permettent non seulement d'évaluer les ressources d'un gisement, mais également d'identifier les risques environnementaux potentiels des métaux économiques et/ou délétères. La Directive 019 mentionne qu'un résidu minier à faible risque est caractérisé par des concentrations en métaux qui n'excèdent pas les critères génériques de niveau A de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du Québec (Beaulieu, 2016). Ces critères correspondent aux teneurs de fond de certains métaux dans les sols des différentes provinces géologiques du Québec, dont la province géologique du Supérieur pour le gisement Akasaba Ouest. Comme nous le verrons plus loin, un rejet minier est considéré à risque élevé si les concentrations de certains métaux dans les lixiviats issus d'essais TCLP dépassent celles mentionnées dans le tableau 1 de l'annexe II de la Directive 019 (Québec MDDEP, 2012).

4.2.1.1 Classification du risque potentiel du projet Akasaba Ouest

Les résultats de la classification du risque potentiel obtenus sur les 281 échantillons de minerai et de stériles du projet Akasaba Ouest indiquent que toutes les unités lithologiques sont caractérisées par des concentrations en Cu (89 % des échantillons), Mo (56 % des échantillons) et Ni (30 % des échantillons) qui dépassent le critère A de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés du Québec (Tableau 4.6; Annexe B). Pour d'autres métaux tels le Ba, le Cr et le Co, on observe que les teneurs en Ba (69 % des échantillons) des unités 3, 4 et 5 excèdent les teneurs du critère A pour ce métal alors que plusieurs échantillons de basaltes andésitiques et ferro titanifères sont caractérisés par des teneurs en Co qui excèdent leurs critères respectifs. Cependant, seuls les basaltes ferro titanifères possèdent des teneurs en Cr qui sont sous le seuil du critère A. Un total de 31 % de l'ensemble des échantillons a été analysé pour déterminer les teneurs en Mn. Seuls les échantillons de basaltes andésitiques et de basaltes ferro-titanifères sont caractérisés par des concentrations en Mn dont la plupart sont légèrement supérieures au critère A de 1000 ppm. La plupart des unités lithologiques possèdent également un certain nombre d'échantillons caractérisés par des concentrations en As (20 % des échantillons) et Ag (19 % des

Tableau 4.6 : Teneurs en métaux Akasaba Ouest et critère générique A de la Province du Supérieur (Beaulieu, 2016)

n.a. : Non-analysé; (*) Teneur supérieure au critère générique A

Métal	Unité 1 N = 22	Unité 2 N = 6	Unité 3 N = 24	Unité 4A Volcanite N = 53	Unité 4A Intrusion N = 50	Unité 4B N = 15	Unité 5A Volcanite N = 16	Unité 5A Intrusion N = 30	Unité 5B N = 63	Critère A
	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)	(ppm)
Ag	0,1 - 2,3*	0,1 - 1,4	< 1	0,25 - 6,9	0,1 - 5,7	0,1 - 0,8	0,1 - 6,8	0,1 - 2,3	0,1 - 2,4	0,5
As	2 - 14	2,5 - 12	< 2,5 - 11	2,5 - 44	2 - 9	2 - 8	≤ 5	2 - 10	2 - 24	5
Ba	16 - 122	15 - 213	59 - 3200	70 - 1750	151 - 1301	134 - 539	255 - 1230	165 - 2150	119 - 660	240
Cd	< 0,2 - 0,7	< 0,2 - 0,7	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	≤ 0,25	< 0,2 - 1,3	≤ 0,25	< 1,0	0,9
Co	21 - 63	32 - 57	9 - 40	8 - 47	5 - 83	10 - 24	6 - 16	7 - 27	3 - 20	30
Cr	280 - 738	10 - 77	10 - 664	10 - 562	10 - 778	20 - 610	10 - 600	30 - 263	10 - 864	100
Cu	14 - 6370	165 - 4070	60 - 1283	1 - 9610	52 - 15750	145 - 3289	41 - 12850	24 - 7260	11 - 1795	65
Mn	897 - 1715	1202 - 1215	263 - 566	139 - 468	74 - 844	131 - 388	130 - 281	64 - 571	68 - 310	1000
Mo	0,5 - 573	6 - 56	1 - 100	0,5 - 518	0,5 - 215	0,5 - 285	0,5 - 59	0,5 - 338	0,5 - 55	8
Ni	83 - 286	48 - 64	3 - 271	3 - 240	9 - 322	18 - 191	10 - 203	8 - 91	5 - 308	65
Pb	< 5 - 14	< 5	< 5 - 14	1 - 26	1 - 17	1 - 13	1 - 16	1 - 13	1 - 14	40
Se	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	3
Zn	24 - 58	28 - 43	10 - 57	15 - 148	11 - 200	15 - 94	14 - 39	13 - 88	7 - 40	150

échantillons) qui sont également supérieures à leurs critères respectifs. À l'exception de deux échantillons l'unité 4A, aucun échantillon ne contient des teneurs en Zn et Pb ne dépassant. L'utilisation du critère générique A pour évaluer le risque potentiel des métaux peut cependant mener à des interprétations incertaines. Dans le cas d'Akasaba Ouest, les teneurs en métaux du critère A pour les sols proviennent de la province géologique du Supérieur qui couvre une superficie 200 000 km². Dans certains cas, il est possible que plusieurs teneurs de fonds de métaux soient supérieures au critère A sans toutefois dépasser celles des sols sus-jacents ou situés à la périphérie du gisement. Dans ces cas, le MDDELCC recommande de calculer les teneurs de fond locales des métaux afin de démontrer que, bien qu'élevées par rapport aux diverses teneurs du critère A, les concentrations de ces métaux sont de sources naturelles (Beaulieu, 2006).

4.2.2 Évaluation du potentiel de lixiviation et de risques élevés

Le protocole de caractérisation géoenvironnemental propose que les premiers travaux d'évaluation du potentiel de lixiviation des résidus miniers soient réalisés au stade de mise en valeur du gisement. Ces travaux consisteront en des essais de lixiviation de très courte durée et donneront un aperçu préliminaire des espèces susceptibles d'être mobilisées dans les eaux de drainage minier. Trois essais peuvent être réalisés lors de la seconde étape du protocole.

La Directive 019 exige que des essais de type TCLP « Toxicity Characteristic Leaching Procedure » soient réalisés pour déterminer si un résidu est considéré comme une matière lixiviable selon l'article 3 du Règlement sur les matières dangereuses (LégisQuébec, 2017). Selon la Directive 019 :

Un résidu minier est considéré lixiviable lorsqu'il est mis à l'essai selon la méthode d'analyse de lixiviation MA100-Lix.com.1.1 produit un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères applicables pour la protection des eaux souterraines pour les résurgences dans les eaux de surface ou infiltration dans les égouts (RESIE), sans toutefois produire un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères énoncés dans le tableau 1 de l'Annexe II (Tableau 4.7; Québec MDDEP, 2012, p. 69).

Selon la Directive 019, les essais TCLP sont également utilisés pour déterminer si les résidus miniers peuvent être considérés à risques élevés selon la définition suivante :

Il s'agit de résidus qui lorsqu'ils sont mis à l'essai conformément à la méthode d'analyse de lixiviation MA100-Lix.com.1.1 produisent un lixiviat contenant un contaminant dont la concentration est supérieure aux critères présentés dans le tableau 1 de l'annexe 2 de la Directive 019. (Tableau 4.7; MDDEP, 2012, p. 71)

Les résultats obtenus des essais TCLP doivent cependant être considérés avec une certaine circonspection, car il est possible que ce type d'essai ne permette pas de refléter tout le potentiel de lixiviation des stériles miniers. Le protocole de l'essai TCLP nécessite également de mettre en contact une solution lixiviante avec un échantillon de sols ou de rejets dans un rapport solide-liquide de 1 : 20 et d'agiter pendant 18 heures. Ce rapport solide-liquide et la courte durée en temps de l'essai conduisent à lixivier les composants qui sont facilement solubles de l'échantillon sans excéder la limite de saturation du lixiviat (Hageman, 2007). De plus, la solution lixiviante utilisée pour les essais TCLP est principalement composée d'eau déminéralisée, d'acide acétique ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OOH}$) et d'acide nitrique (HNO_3) et est donc peu représentative de la composition des eaux atmosphériques et de surfaces qui s'écoule dans les empilements de roches stériles. Selon EPA (1992), les essais réalisés entre plusieurs laboratoires indiquent de très faibles reproductibilités et précisions des résultats d'analyses pour les métaux. En fait, les résultats obtenus des essais TCLP donnent de meilleures précisions des résultats pour les composés organiques volatils tels hydrocarbures aromatiques polycycliques, les phénols et les furannes (EPA, 1992). Ce type de lixiviat n'est donc pas nécessairement représentatif des lixiviats associés aux sites miniers et il est donc difficile pour le moment de vérifier l'applicabilité de la méthode.

Le protocole de lixiviation SPLP « Synthetic Precipitation Leaching Procedure » est tiré de la méthode EPA 1312 pour évaluer l'impact des sols contaminés sur la composition de l'eau souterraine (EPA, 1994). Ces essais permettent également de déterminer la concentration des métaux et métalloïdes susceptibles d'être lixiviés par les pluies acides. La solution lixiviante utilisée pour ce type d'essais se compose d'une solution de base contenant une proportion 60/40 d'acide sulfurique (H_2SO_4) et d'acide nitrique (HNO_3) qui sera mélangée à un certain volume d'eau déminéralisée pour obtenir des pH de 4,2 et $5,0 \pm 0,05$. La composition de ce type de solution est plus représentative de la composition d'eaux atmosphériques et de surface. Au Québec, ce protocole est utilisé afin d'évaluer les possibilités de valorisation des résidus industriels non dangereux et de gestion des matières résiduelles traitées par stabilisation-solidification (CEAEQ, 2012). Aux États-Unis, l'essai SPLP est l'une des méthodes les plus fréquemment utilisées pour

évaluer le potentiel de lixiviation des métaux des rejets de sites miniers (Hageman,2007). Contrairement à l'essai TCLP, l'essai SPLP n'est pas exigé par la Directive 019.

Les résultats obtenus des essais de lixiviation TCLP et SPLP doivent être interprétés avec une certaine prudence. En fait, la courte durée de l'essai TCLP et SPLP ne permettrait de libérer que les métaux qui sont très faiblement liés à la surface des fragments de roches et non ceux associés à la dissolution de minéraux tels les sulfures, les oxydes et les carbonates.

Les essais de type CTEU-9 constituent un troisième type d'essais de lixiviation qui est utilisé pour déterminer les métaux qui seront susceptibles d'être lixiviés en contact avec l'eau dont le pH est de 7 (CEAEQ, 2012). Il permet d'évaluer les possibilités de valorisation des résidus industriels non dangereux et de gestion des matières résiduelles traitées par stabilisation-solidification. Tout comme l'essai SPLP, l'essai CTEU-9 n'est pas exigé par la Directive 019.

4.2.2.1 Résultats des essais TPLP, SPLP et CTEU-9 – Projet Akasaba Ouest

Les échantillons de minerai et de stériles du gisement Akasaba ont été soumis aux essais de lixiviation TCLP, SPLP et CTEU-9. Les résultats obtenus (Tableaux 4.7, 4.8 et 4.9) sont comparés aux critères RESIE applicables pour les eaux souterraines (Beaulieu, 2016) ainsi qu'aux critères de risques élevés (Québec MDDEP, 2012). Les résultats indiquent que, pour toutes les unités lithologiques, un total de 61 % et de 24 % des échantillons de minerai et de roches stériles ont respectivement lixivié du cuivre et du manganèse à des concentrations supérieures aux critères de qualité des RESIE lors des essais TCLP. Ces échantillons de minerai et de stériles sont donc considérés comme lixiviables pour le Cu et le Mn. Cependant, ces échantillons ne représentent un risque élevé pour le manganèse alors qu'il nous est cependant impossible de connaître si ce niveau de risque est élevé puisque le cuivre ne possède pas de critère référence de risques élevés. À l'exception de quelques échantillons de volcanites et/ou de tufs des unités 4A et 5A (Pb et Zn), les concentrations des autres métaux analysés dans les lixiviats des essais TCLP sont en deçà des critères pour les résidus miniers lixiviables. Ces métaux sont ainsi considérés à faible risque.

Les résultats obtenus des essais SPLP et CTEU-9 (Tableaux 4.8 et 4.9) n'indiquent pas de lixiviation du cuivre, du manganèse ainsi que d'autres métaux à des concentrations qui sont supérieures aux critères RESIE. Le potentiel de lixiviation de toutes les lithologies du gisement Akasaba Ouest est donc considéré faible tant que l'oxydation des sulfures est sous contrôle (Golder, 2015).

Tableau 4.7 : Résultats des essais TCLP (mg/L) – Akasaba Ouest

Golder, 2015. Critères RESIE (Beaulieu,2016), critères de risques élevés (MDDEP, 2012).

Métal	Unité 1 N = 8	Unité 2 N = 2	Unité 3 N = 11	Unité 4A Volc. N = 13	Unité 4A Int. N = 16	RESIE	Risques élevés
As	0,0018 - 0,0070	0,0018	0,0004 - 0,0058	0,0005 - 0,0045	0,0006 - 0,0100	0,34	5
Ba	0,023 - 0,354	0,230 - 0,258	0,020 - 0,620	0,038 - 0,132	0,027 - 0,361	0,6	100
Cd	0,00002 - 0,00074	0,00008 - 0,00094	0,00002 - 0,00012	0,00008 - 0,00047	0,00002 - 0,00039	0,0011	0,5
Co	0,0025 - 0,0037	0,0041 - 0,0048	0,0016 - 0,0037	0,0023 - 0,0073	0,0016 - 0,0119	0,37	n.d.
Cr	0,0016 - 0,0156	0,0012 - 0,0015	0,0018 - 0,0072	0,0018 - 0,0077	0,0018 - 0,0090	1	5,0
Cu	0,0036 - 0,5070	0,0030 - 0,0045	0,0013 - 0,0204	0,0034 - 1,2700	0,0025 - 0,4570	0,0073	n.d.
Mn	0,06 - 7,00	6,30 - 7,46	0,18 - 3,68	0,06 - 4,24	0,05 - 3,39	2,3	n.d.
Mo	0,0004 - 0,0012	0,0007 - 0,0007	0,0004 - 0,0015	0,0002 - 0,0032	0,0001 - 0,0051	29	n.d.
Ni	0,0088 - 0,0152	0,0126 - 0,0139	0,0025 - 0,0104	0,0024 - 0,0160	0,0040 - 0,0267	0,26	n.d.
Pb	< 0,00004	< 0,00005	< 0,00005	0,00002 - 0,092	0,00001 - 0,00396	0,034	5
Zn	0,004 - 0,017	0,003	0,003 - 0,015	0,003 - 0,080	0,003 - 0,020	0,067	n.d.

Métal	Unité 4B N = 5	Unité 5A Volcanites, tufs N = 4	Unité 5A Intrusions N = 6	Unité 5B N = 21	RESIE	Risques élevés
As	0,0008 - 0,0012	0,0008 - 0,0027	0,0009 - 0,0046	0,0007 - 0,0086	0,34	5
Ba	0,021 - 0,037	0,043 - 0,156	0,037 - 0,166	0,032 - 0,060	0,6	100
Cd	0,00008 - 0,00028	0,00001 - 0,00025	< 0,00031	0,00008 - 0,00035	0,0011	0,5
Co	0,0020 - 0,0634	0,0010 - 0,0018	0,0010 - 0,0027	0,0007 - 0,0021	0,37	n.d.
Cr	0,0025 - 0,0029	0,0025 - 0,0097	0,0028 - 0,0097	0,0015 - 0,0069	1	5,0
Cu	0,0092 - 1,2900	0,0068 - 0,1290	0,0027 - 0,1010	0,0025 - 0,1260	0,0073	n.d.
Mn	0,07 - 3,08	0,05 - 2,46	0,125 - 4,03	0,17 - 2,69	2,3	n.d.
Mo	0,00034 - 0,00243	0,00031 - 0,003	0,0004 - 0,0017	0,00013 - 0,00171	29	n.d.
Ni	0,0023 - 0,0086	0,0023 - 0,0103	0,0039 - 0,0088	0,0018 - 0,0102	0,26	n.d.
Pb	0,00003 - 0,00006	0,00002 - 0,01168	0,00002 - 0,041	0,00002 - 0,02142	0,034	5
Zn	0,003 - 0,006	0,004 - 0,026	0,003 - 0,023	0,002 - 0,086	0,067	n.d.

Tableau 4.8 : Résultats des essais SPLP (mg/L) – Akasaba Ouest

Golder, 2015. Critères RESIE (Beaulieu,2016), critères de risques élevés (MDDEP, 2012).

Métal	Unité 1 N = 8	Unité 2 N = 2	Unité 3 N = 11	Unité 4A Volc N = 13	Unité 4A Int. N = 16	RESIE	Risques élevés
As	0,0007 - 0,0020	0,0013 - 0,0015	0,0006 - 0,0030	0,0007 - 0,0090	0,0009 - 0,0040	0,34	5
Ba	0,0007 - 0,0050	0,0031 - 0,0040	0,0002 - 0,0100	0,0008 - 0,0030	0,0006 - 0,0060	0,6	100
Cd	< 3,0 E-6	< 3,0 E-6	< 1,2 E-5	< 2,2 E-5	< 8 E-6	0,0011	0,5
Co	0,00002 - 0,00010	0,00002 - 0,00003	0,00001 - 0,00006	0,00001 - 0,00005	0,00003 - 0,00009	0,37	n.d.
Cr	0,00004 - 0,00070	< 0,00008	< 0,00007	0,00003 - 0,00020	0,00004 - 0,00030	1	5,0
Cu	0,0003 - 0,0200	0,0003 - 0,0004	0,0002 - 0,0009	0,0002 - 0,0030	0,0002 - 0,0030	0,0073	n.d.
Mn	0,0008 - 0,0035	0,0007	0,0004 - 0,0010	0,0002 - 0,0013	< 0,0001 - 0,0022	2,3	n.d.
Mo	0,0002 - 0,0009	0,0006 - 0,0009	0,0003 - 0,0020	0,0003 - 0,0060	0,0002 - 0,0055	29	n.d.
Ni	≤ 0,0003	< 0,0001	≤ 0,0001	≤ 0,0003	≤ 0,0010	0,26	n.d.
Pb	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	0,034	5
Zn	< 0,002	< 0,002	< 0,002 - 0,014	< 0,002	< 0,002	0,067	n.d.

Métal	Unité 4B N = 5	Unité 5A Volcanites, tufs N = 4	Unité 5A Intrusions N = 6	Unité 5B N = 21	RESIE	Risques élevés
As	0,0006 - 0,0010	0,0003 - 0,0020	0,0010 - 0,0070	0,0004 - 0,0030	0,34	5
Ba	0,0003 - 0,0006	0,0005 - 0,0030	0,0004 - 0,0030	0,0003 - 0,0020	0,6	100
Cd	< 9 E-6	< 1,6 E-5	< 6 E-6	< 6 E-6	0,0011	0,5
Co	0,00002 - 0,00030	0,00002 - 0,00004	0,00001 - 0,00003	0,00001 - 0,00003	0,37	n.d.
Cr	< 0,00003	< 0,00003 - 0,0002	0,00003 - 0,00014	< 0,00008	1	5,0
Cu	0,0002 - 0,0030	0,0003 - 0,0010	0,0005 - 0,0024	0,0002 - 0,0009	0,0073	n.d.
Mn	0,0003 - 0,0051	0,0005 - 0,0029	0,0005 - 0,0007	0,0001 - 0,0013	2,3	n.d.
Mo	0,0001 - 0,0050	0,0002 - 0,0050	0,00015 - 0,0050	0,0002 - 0,0024	29	n.d.
Ni	≤ 0,0001	≤ 0,0002	≤ 0,0001	≤ 0,0001	0,26	n.d.
Pb	< 0,007	< 0,007	< 0,007	< 0,007	0,034	5
Zn	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,067	n.d.

Tableau 4.9 : Résultats des essais CTEU-9 (mg/L) - Akasaba Ouest

Golder, 2015. Critères RESIE (Beaulieu,2016), critères de risques élevés (MDDEP, 2012).

Métal	Unité 3 N = 4	Unité 4A Intrusions N = 3	Unité 5A Volcanites, Intrusions N = 4	RESIE	Risques élevés
As	0,015 – 0,031	0,006 – 0,010	0,003 – 0,011	0,34	5
Ba	0,0008 – 0,0016	0,0068 – 0,0150	0,0007 – 0,0110	0,6	100
Cd	8,0 E-06 - 2,0 E-05	6,0 E-06 – 1,0 E-05	6,0 E-06 – 1,4 E-05	0,0011	0,5
Co	8,2 E-06 – 3,0 E-05	3,7 E-04 – 8,8 E-05	1,9 E-04 – 1,6 E-05	0,37	n.d.
Cr	0,0006 – 0,0022	0,0018 – 0,0051	0,0015 – 0,0180	1	5,0
Cu	0,0018 – 0,0026	0,0024 – 0,0055	0,0014 – 0,0066	0,0073	n.d.
Mn	0,0007 – 0,0017	0,0026 – 0,0071	0,0006 – 0,0039	2,3	n.d.
Mo	0,013 – 0,047	0,019 – 0,022	0,007 – 0,040	29	n.d.
Ni	0,0001 – 0,0002	0,0007 – 0,0018	0,0002 – 0,0009	0,26	n.d.
Pb	< 0,00001	< 0,00001 – 0,00015	< 0,00001 – 0,00019	0,034	5
Zn	< 0,001 – 0,001	< 0,001 – 0,001	< 0,001	0,067	n.d.

4.2.3 Les essais statiques - Évaluation du caractère acidogène

L'évaluation du caractère acidogène de stériles miniers constitue l'un des principaux paramètres à confirmer à l'étape de mise en valeur du projet. Les résultats des teneurs en C_{total} et S_{total} qui sont obtenus des analyses réalisées lors de la phase d'exploration nous ont permis d'obtenir une évaluation préliminaire des valeurs de PA, PN, PNN et RPN. Ces résultats ne sont cependant que théoriques puisqu'ils sont déterminés sur la base de calculs. Ces calculs prennent en considération que les réactions de génération et de neutralisation d'acide sulfurique suivront les mêmes formulations stoechiométriques que celles associées à l'oxydation de la pyrite et à la neutralisation de l'acide générée par la calcite. Comme différentes phases minérales peuvent intervenir dans les processus de génération et de neutralisation d'acide, il sera essentiel, à ce stade du protocole de caractérisation géoenvironnemental, d'utiliser une méthode qui permettra de préciser les paramètres environnementaux tels le PN, PNN et RPN. Les essais statiques chimiques réalisés en laboratoire seront utilisés pour venir préciser et compléter les valeurs du BAB obtenues à la phase exploration. Les essais statiques chimiques et minéralogiques représentent des approches fréquemment utilisées pour cette évaluation.

Deux grandes catégories d'essais statiques existent actuellement soit les essais statiques chimiques et les essais statiques minéralogiques. Dans chacune de ces catégories, différentes méthodes ou approches peuvent être utilisées pour déterminer le potentiel d'acidification (PA) et le potentiel de neutralisation (PN) qui permettront d'évaluer le potentiel net de neutralisation (PNN) et le rapport PN/PA (Plante, Bussière et Benzaazoua, 2012). Le protocole de caractérisation géoenvironnementale ainsi que la Directive 019 ne donnent aucune recommandation sur la ou les méthodes à utiliser pour déterminer les valeurs de PA, de PN, de PNN et de RPN. Le protocole suggère d'utiliser l'un des trois types d'essais présentés à la figure 4.16 pour les essais statiques chimiques, soit les essais de types Sobek, NAG et Acisol. Nous présenterons dans les prochaines sections les résultats des deux méthodes utilisées pour déterminer les paramètres environnementaux au moyen d'essais statiques pour les stériles d'Akasaba Ouest. Il s'agit de la méthode Acisol et de la méthode de Lawrence et Scheske.

4.2.3.1 Les essais statiques chimiques

Les essais statiques chimiques sont des tests de prédiction de courte durée utilisés pour évaluer le potentiel d'un échantillon de résidus miniers à générer ou neutraliser l'acide issu de l'oxydation des sulfures (Plante *et al.*, 2012; Brough *et al.*, 2013). Ces essais consistent à déterminer le PA et PN d'un échantillon et à établir son bilan acide-base (BAB).

4.2.3.1.1 Détermination et calcul du potentiel d'acidification (PA)

La Directive 019 indique que l'une des premières conditions pour qu'un résidu minier soit acidogène est que ce dernier soit caractérisé par une concentration en S_{total} supérieure à 0,3 %. Cette condition peut venir biaiser l'interprétation du caractère acidogène donné à certains échantillons, en particulier ceux qui seront riches en sulfates issus de l'oxydation des sulfures. Dans l'éventualité de présence de sulfates, une étude minéralogique s'avère importante pour déterminer si l'échantillon contient des sulfates efflorescents solubles. Ces minéraux sont susceptibles de tamponner des ions H^+ et des métaux qui seront éventuellement libérés lors de leurs dissolutions. Les sulfates riches en Ca et Ba tels gypse, anhydrite ou baryte sont peu solubles et le risque de générer des ions H^+ et des métaux est plus faible. En présence de sulfates efflorescents, il serait préférable de considérer le S_{total} comme critère d'évaluation du caractère acidogène. En présence de gypse ou d'anhydrite, le S_{sulfure} obtenu par l'équation 3.2 remplace le S_{total} dans l'équation 3.1 (Seal et Hammarstrom, 2003).

De plus, la concentration en S_{sulfure} obtenue par analyse chimique sur roche totale ne fait aucune discrimination sur les types de sulfures auxquels le soufre est associé. Or, certains sulfures, dont la pyrite et la pyrrotine possèdent un taux réactivité plus rapide et produisent une plus grande quantité d'acidité que la chalcopryrite, la sphalérite, la galène et la bornite (Coasted Research inc., 2008; Seal et Hammarstrom, 2002; Chopart, Benzaazoua, Plante, Bouzahzah et Marion, 2015; Chopart, 2017). Les variations des taux de réactivité selon les types de sulfures présents dans un échantillon auraient pour effet de biaiser la valeur du PA.

4.2.3.1.2. Essais et détermination du potentiel de neutralisation en laboratoire

Certains essais statiques chimiques réalisés en laboratoire seront utilisés pour venir préciser et compléter les valeurs du potentiel de neutralisation déterminées par la méthode du PN-

Carbonate. Trois types d'essais réalisés en laboratoire sont proposés à cette étape du protocole de caractérisation géoenvironnemental soit les essais Sobek, les essais NAG et les essais Acisol.

4.2.3.2 Essai Sobek original et modifié

Les essais de type Sobek original (Sobek, Schueller, Freeman et Smith, 1978) et sa variante, le Sobek modifié (Lawrence et Wang, 1996) sont des tests dont la durée peut varier de quelques minutes à 24 heures. Ces essais permettent d'estimer la réactivité des minéraux neutralisants par l'addition d'acide chlorhydrique pour réagir avec l'échantillon, soient au début et/ou pendant le test. Bien que les essais Sobek soient largement utilisés en Amérique du Nord, leurs applications demandent de connaître certaines de leurs contraintes. La première contrainte concerne les interprétations des résultats du test Fizz qui sont suggestives et peuvent mener à une sur ou une sous-évaluation de la quantité d'acide à ajouter.

L'une des contraintes les plus souvent mentionnées pour l'essai Sobek original concerne la température de chauffage de l'échantillon qui rendrait l'essai plus agressif et ne reflèterait pas vraiment les conditions de température observées dans les haldes à stériles. De plus, les résultats obtenus auraient tendance à surestimer les valeurs de PN à la suite de la dissolution de carbonates (dolomite ou l'ankérite) mais également de certains silicates (Plante *et al.*, 2012). L'essai Sobek original conduirait à la dissolution complète de la sidérite, un carbonate de fer fréquemment reconnu dans certains gisements, sans laisser suffisamment de temps au fer de s'oxyder et générer ainsi de l'acide. Ceci aurait également pour effet de surévaluer la valeur mesurée du PN lors de l'essai par rapport celle qui serait obtenue dans un lixiviat issu de rejets miniers riches en sidérite (Jambor *et al.*, 2003).

La réalisation de l'essai Sobek modifié nécessite l'utilisation de peroxyde d'hydrogène pour favoriser l'hydrolyse du fer et du manganèse associé à certains minéraux, dont les carbonates, afin d'obtenir des valeurs de PN plus près de la réalité (Skousen *et al.*, 1997; Jambor *et al.*, 2003). Si les travaux de minéralogie ou les calculs de minéraux normatifs réalisés à l'étape #1 du protocole de caractérisation géoenvironnemental mettent en évidence la présence de carbonates de fer, il sera important de comparer les résultats obtenus du test Sobek modifié avec les valeurs de PN-Carbonate corrigé (PNCC). Les résultats d'études comparatives réalisées sur plusieurs échantillons de rejets miniers ont toujours rapporté des valeurs de PNCC supérieures aux résultats de l'essai Sobek modifié (Plante *et al.*, 2012).

4.2.3.3 Essais de type NAG

Les essais de type « Net Acid Generation » ou NAG utilisent le peroxyde d'hydrogène pour provoquer une oxydation très rapide des sulfures et produire de l'acide sulfurique qui sera en partie ou complètement neutralisé par les minéraux acidivores de l'échantillon (Price, 2009). Comme l'essai a pour propriété de générer et neutraliser simultanément l'acide, les résultats obtenus indiquent le potentiel net de neutralisation (PNN), mais ne permettent pas de connaître les valeurs de PN et de PA de chacun des échantillons (Brough *et al.*, 2013). Ceci peut rendre difficile la comparaison des résultats des essais NAG avec les autres résultats des tests statiques chimiques. Le potentiel de génération d'acide est déterminé selon la valeur obtenue du NAG_{pH} . Ainsi, un $NAG_{pH} < 4,5$ indique que l'échantillon a un potentiel de génération d'acide alors qu'un $NAG_{pH} > 4,5$ indique que l'échantillon est non générateur d'acide (Price, 2009).

4.2.3.4 La méthode Acisol (Potentiel de neutralisation brut)

La méthode analytique Acisol (CEAEQ, 2012b) est utilisée, entre autres, pour déterminer le potentiel de neutralisation brut d'un échantillon. Cette méthode est décrite à la section 3.5.3. du chapitre 3. L'essai Acisol est utilisé au Québec par certaines entreprises, dont Mines Agnico Eagle Ltée pour son projet Akasaba Ouest. Pour le moment, il nous est difficile de commenter la qualité des résultats, car ce type d'essai n'est pas décrit ni commenté dans la littérature scientifique.

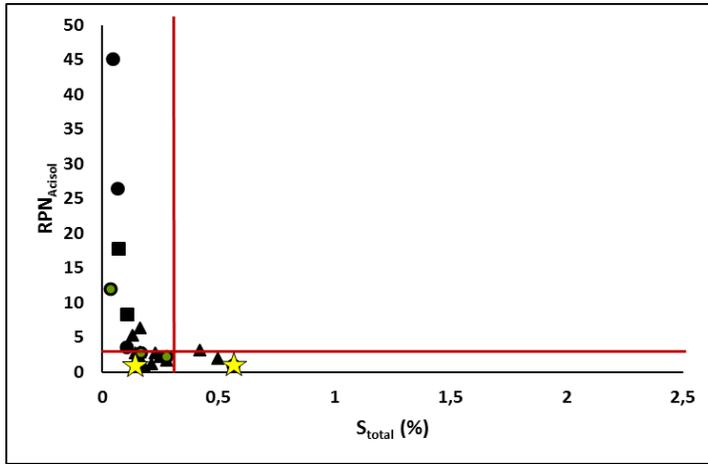
4.2.4 Résultats des tests statiques chimiques - Akasaba Ouest

Les résultats des essais statiques chimiques Acisol qui ont été réalisés sur les échantillons de la série AKA14-ENV sont présentés au tableau 4.10 et à l'Annexe C. Chacun des échantillons soumis aux essais de laboratoire a été classé selon qu'il appartiendra aux zones de minerai ou à celles de lithologies qui seront incluses dans les stériles. Les diagrammes de la figure 4-17 suggèrent qu'à l'exception de l'unité 2, toutes les lithologies sont caractérisées par des valeurs de RPN qui varient d'incertain ($3 > RPN < 1$) à probables ($RPN < 1$) de générer un DMA. De plus, la plupart des unités lithologiques des futurs stériles miniers contiennent plus de 50 % des échantillons qui sont caractérisés pour des valeurs de PNN allant d'incertain à probables ou $< 20 \text{ kgCaCO}_3/\text{t}$ (Annexe C). Ces résultats sont conformes avec ceux présentés à la figure 4-7. Les résultats des calculs des PNN_{Carb} et PNN_{Acisol} indiquent que plus de 50 % des échantillons de chacune des lithologies présentent un potentiel incertain de génération d'acide ($-20 < PNN < 20$).

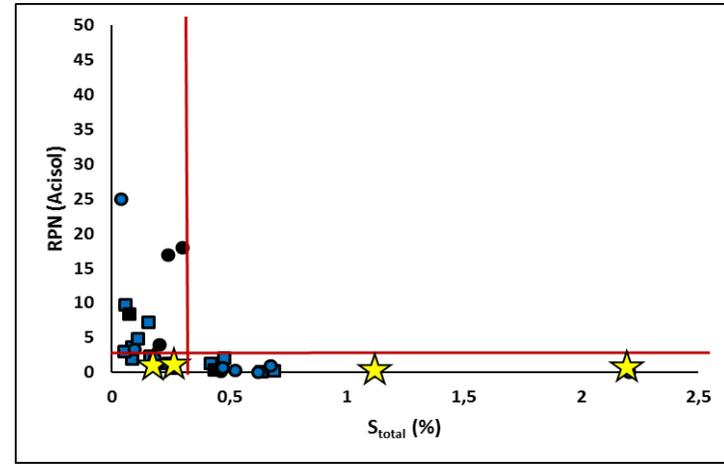
Tableau 4.10 : Résultats des essais statiques chimiques et minéralogiques – Akasaba Ouest

	Unité 1 Volcanite	Unité 2 Volcanite	Unité 3 Volcanite	Unité 4A Volcanite	Unité 4A Intrusion	Unité 4B Volcanite	Unité 5A Volcanite	Unité 5A Intrusion	Unité 5B Volcanite
Essais statiques chimiques (Acisol)									
Nb. Échant	13	4	14	24	26	10	10	15	34
S _{tot} (%)	<0,03-0,56	0,07 – 0,7	0,04 – 1,79	<0,03-2,20	0,05 – 0,73	0,04 – 1,03	<0,03-2,09	<0,03-0,59	<0,03-4,12
PA	1,1 – 17,6	2,2 – 22,0	1,2 – 55,9	0,4 – 88,5	1,5 – 22,8	1,4 – 32,1	0,1 – 65,3	0,1 – 18,4	0,1 - 129
S _{tot} > 0,3%	7%	50%	21%	43%	23%	33%	40%	36%	36%
Nb. Échant	8	2	11	13	16	5	4	6	21
PN Acisol	7,3 – 6,5	28 - 39	4,9 – 41,0	2,5 – 29,0	2,5 – 35,0	5,0 – 15,0	5,0 – 27,0	2,5 – 32,0	2,5 – 55,0
PNN Acisol	-0,6 - 64	24 - 37	-0,7 – 27,9	-79 - 28	-17,4 - 30	-3,2 - 13	-60,2 - 25	-11,3 - 32	-109 - 36
RPN Acisol	1,0 – 45,1	8,3 – 17,8	0,9 – 6,3	0,1 – 25,0	0,1 - 9,7	0,6 – 9,8	0,1 – 10,9	0,2 – 46,4	0,06 – 12,8
Essais statiques minéralogiques (Lawrence et Scheske)									
Nb. Échant	22	6	24	54	50	15	16	32	63
PN	2,9 – 206,9	2,9 – 58,9	4,2 – 39,1	1,8 – 70,3	3,9 – 60,3	4,1 – 35,2	4,2 - 72	3,9 - 54	4,2 – 87,7

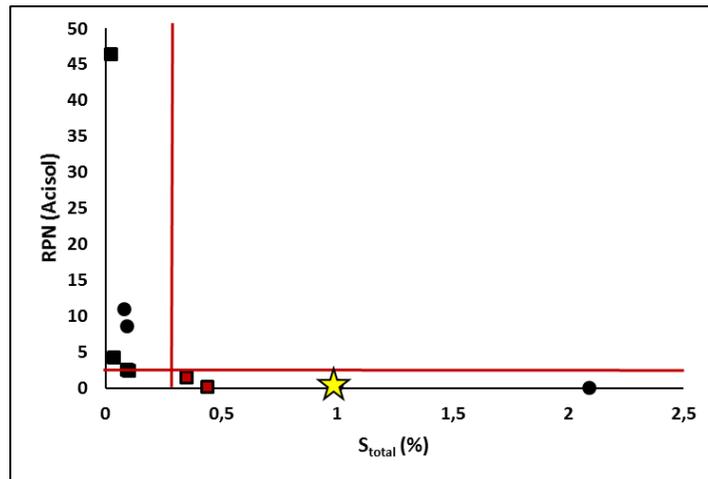
Les résultats des paramètres PA, PN et PNN sont exprimés en kg CaCO₃/t



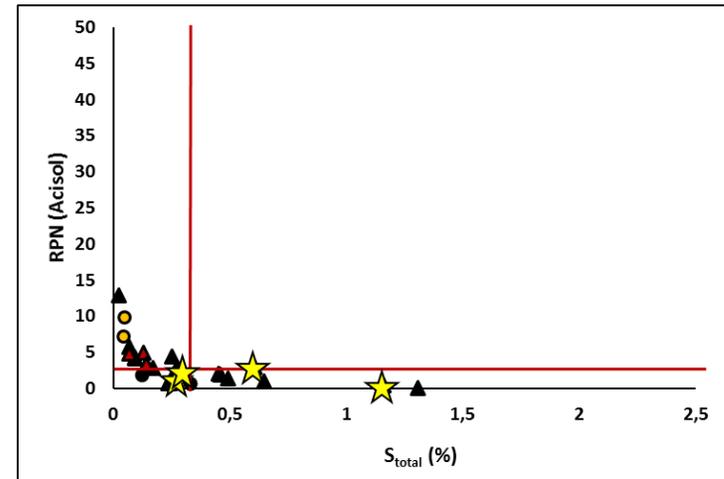
A) Échantillons unités 1 (●), 2 (■) et 3 (▲)



B) Échantillons unité 4A volcanites (●), intrusions (■)



C) Échantillons unité 5A; volcanites (●), intrusions (■)



D) Échantillons unités 4B (●) et 5B (▲)

Figure 4-17 : Diagrammes RPN_{Acisol} vs S_{total} des unités lithologiques – (Symboles pleins (ex. ● stériles); symboles contourés noir

(ex. ● minerais) et ★ échantillons essais en cellules d'altération). Droite horizontale ($RPN = 3$), verticale ($S_{total} = 0,3\%$)

Tel que mentionné à la section 4.1.1.3., les andésites alcalines de l'unité 5B contiennent 40 % des d'échantillons qui sont caractérisés comme ayant un très faible potentiel de génération acide ($PNN_{\text{Carb}} \geq 20$) mais seulement 2 échantillons de cette unité ont rapporté des valeurs de $PNN_{\text{Acisol}} \geq 20$.

4.2.5 Les essais statiques minéralogiques

Le protocole suggère que des essais statiques minéralogiques soient introduits au stade de mise en valeur du gisement. À ce stade, ces essais prendront en considération les résultats des calculs normatifs obtenus au stade de l'exploration pour effectuer les calculs de PN et de PA. Les résultats des valeurs des PN calculées selon les deux méthodes devront être comparés entre eux ainsi qu'avec celles obtenues des essais statiques chimiques et les résultats des valeurs de PN_{Carb} et de PNCC.

4.2.5.1 Méthode Lawrence et Scheske

Les résultats obtenus des calculs des essais statiques minéralogiques pour l'ensemble des échantillons du projet Akasaba Ouest à partir de l'équation 3.7 sont présentés à l'annexe E. Pour effectuer les calculs selon l'approche de Lawrence et Scheske, nous avons choisi les concentrations C_i obtenues des calculs de minéraux normatifs (Annexe D) pour chacune des lithologies alors que les taux de réactivité R_i proviennent de la littérature (Sverdrup, 1990). Les comparaisons des résultats de PN_{Carb} ou de PN_{Acisol} avec ceux calculés par la méthode de Lawrence et Scheske montrent une bonne corrélation pour la plupart des unités lithologiques, à l'exception des unités mafiques des unités 1 et 2 (Annexe E). Les variations des résultats peuvent provenir de l'estimation des taux de réactivité qui ne sont qu'estimés pour chaque minéral et classés selon le taux de dissolution d'un minéral par rapport à la calcite (Sverdrup, 1990) ainsi que du pourcentage de minéraux normatifs dans un échantillon.

4.2.5.2 Méthode Paktunc

La méthode développée par Paktunc (1999b) calcule les potentiels de neutralisation et d'acidification de chaque phase minérale susceptible de participer à la neutralisation de l'acide et fait une sommation de toutes les valeurs obtenues pour obtenir le PN et la PA final de l'échantillon.

Cependant, les équations 3.8 et 3.9 peuvent être laborieuses d'utilisation, car elles nécessitent de connaître : a) la quantité et le poids moléculaire de chaque minéral ainsi que b) la stoechiométrie des équations chimiques qui permettra de déterminer le nombre de moles d'acide généré par les minéraux sulfureux ou le nombre de moles d'un minéral qui neutralisera une mole d'acide sulfurique. Pour les échantillons du projet Akasaba Ouest, ce dernier paramètre est difficile à évaluer et les données de la littérature ne sont pas disponibles pour toutes les phases minérales présentes dans nos échantillons.

Les nombreuses valeurs de PN et de PA obtenues jusqu'à maintenant sont principalement basées sur les résultats obtenus par des méthodes de calculs (PN_{Carb} , PNCC ou Lawrence et Scheske) et d'essai en laboratoire de courte durée (Acisol). Pour évaluer le potentiel de neutralisation d'un échantillon représentatif d'une lithologie composant les stériles miniers, il faudra prendre en considération les résultats d'essais qui incluent une composante cinétique et temporelle.

4.2.6 Sélection d'échantillons représentatifs

Les échantillons sélectionnés à la fin de la phase exploration ont été soumis à l'évaluation des métaux à risques, aux essais de lixiviation ainsi qu'aux essais statiques chimiques et cinétiques. Les résultats obtenus mèneront à une seconde sélection d'échantillons à la fin de la phase de mise en valeur du gisement. À cette étape, les échantillons sélectionnés devront représenter toutes les unités lithologiques du gisement en incluant les stériles et le minerai. De plus, chacune des unités lithologiques devra être représentée par un minimum d'un échantillon qui possède au moins un ou plusieurs des critères suivants :

- a) Un potentiel acidogène de très faible, incertain et possible;
- b) Un ou plusieurs métaux considérés à risque très faible selon le bruit de fond local;
- c) Un ou plusieurs métaux considérés lixiviables;
- d) Un ou plusieurs métaux considérés à risques élevés.

Pour chacun des groupes (a) à (d), il sera important de choisir les échantillons permettant d'avoir une bonne distribution spatiale et inclure des échantillons de stériles et de minerai. Les échantillons identifiés seront sélectionnés et soumis aux essais cinétiques de la phase préfaisabilité.

4.3 Phase de pré faisabilité: Caractérisation environnementale exhaustive

Les résultats de la caractérisation géoenvironnementale obtenus jusqu'à maintenant ont permis d'identifier et de caractériser les lithologies, les phases minérales et les métaux susceptibles d'influencer la composition des eaux de drainage minier ainsi que d'obtenir une évaluation préliminaire des potentiels d'acidification et de neutralisation de ces lithologies. Ces résultats ne donnent cependant que très peu d'informations sur l'évolution temporelle de certains facteurs physico-chimiques ainsi que sur l'évolution de la composition chimique des eaux de drainage minier.

La réalisation de la troisième étape du protocole de caractérisation géoenvironnementale est proposée lorsque le projet minier atteint la phase de pré faisabilité. À cette étape de développement du projet, l'entreprise doit réaliser des études de risques techniques, financiers, sociopolitiques et environnementaux afin d'évaluer la rentabilité, les risques et les aspects positifs du projet minier. Les travaux proposés lors de phase de pré faisabilité de développement d'un projet minier auront pour objectifs de préciser et de caractériser la nature, la source et l'intensité des problématiques environnementales du gisement. Ces travaux consisteront à réaliser des essais de cinétique chimique en laboratoire et permettront d'évaluer certains paramètres essentiels à la caractérisation du risque environnemental (Dold et Weibel, 2013). Des études de minéralogie détaillée seront par la suite réalisées afin d'interpréter les résultats obtenus lors de ces essais (Figure 4-18).

4.3.1 Les essais cinétiques

Les essais cinétiques sont des tests de lixiviation qui tentent de reproduire le plus fidèlement possible les conditions naturelles d'exposition des rejets miniers en favorisant la percolation d'eau dans un volume de roches déterminé et de granulométrie variée. L'un des objectifs de ces essais est de confirmer ou d'infirmer le caractère acidogène d'un échantillon représentatif de minerai ou de stérile en tentant de provoquer une oxydation des minéraux sulfurés présents dans ce dernier. Les résultats obtenus permettront, entre autres, de déterminer les taux d'oxydation des sulfures ainsi que les taux de génération et/ou de neutralisation des minéraux et le délai avant le début de la génération d'acide (Villeneuve, 2004; Coastec Research Inc., 2008; Sapford *et al.*, 2009).

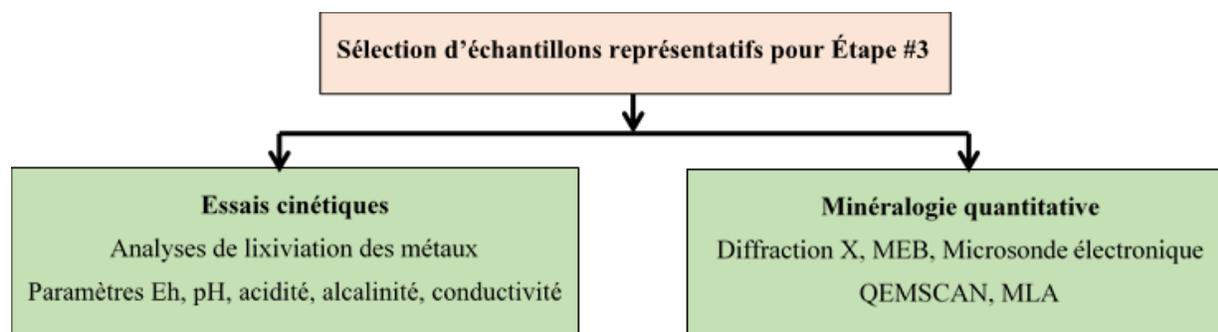


Figure 4-18 : Protocole de caractérisation géoenvironnementale - phase préfaisabilité

Un autre objectif consiste à quantifier et à prédire les compositions chimiques et physico-chimiques (pH, Eh, alcalinité, acidité, conductivité) des eaux de drainages miniers acides, circum-neutres ou alcalins issus des différentes unités lithologiques. (Dold et Weibel, 2013, Brough *et al.*, 2013; Dyantyi *et al.*, 2013). Les résultats de l'analyse des lixiviats récupérés lors de ces essais seront également utilisés pour évaluer les taux d'épuisement des minéraux acidifiants et neutralisants. Les résultats et interprétations de ces essais aideront les entreprises minières à obtenir une meilleure évaluation des risques environnementaux associés à l'entreposage des rejets miniers et à évaluer différents scénarios pour leur mode de gestion. Actuellement, aucune exigence n'est demandée aux entreprises par la Directive 019 pour réaliser des essais cinétiques si les résultats des essais statiques démontrent que les résidus sont non-acidogènes et/ou non lixiviables (Québec MDDEP, 2012). Ces essais peuvent être exigés par les agences gouvernementales pour obtenir une caractérisation plus exhaustive des rejets avant d'émettre les certificats d'autorisation pour exploiter un gisement.

Bien que les essais cinétiques soient pertinents à une évaluation détaillée des risques environnementaux associés aux rejets miniers, l'interprétation des résultats obtenus doit être réalisée avec circonspection. L'un des problèmes actuellement rencontrés est de prédire les phénomènes environnementaux qui seront observés directement sur le terrain à partir des données obtenues en laboratoire et plus particulièrement les taux d'oxydation et de neutralisation des minéraux ainsi que les taux de lixiviation des métaux (Sapford *et al.*, 2009; Plante *et al.*, 2011; Bornhorst et Logsdon, 2016). Une autre problématique concerne la détermination de la durée des essais. Dans certains cas, un essai trop court peut empêcher l'épuisement complet des minéraux neutralisants et les résultats ne mettront pas en évidence un processus de génération d'un drainage acide. Une estimation temporelle du début de ce drainage acide pourra être évaluée par extrapolation des résultats des essais. Cependant, nous devons estimer et projeter un risque

susceptible de survenir dans plusieurs dizaines d'années sur la base de résultats obtenus en quelques semaines. Parmi les autres problématiques rencontrées, citons que les conditions ayant pour but d'accélérer les réactions chimiques lors des essais en laboratoire peuvent mener à des résultats irréalistes (Coastec Research Inc., 2008). Certains auteurs mentionnent également que les taux d'altération déterminés sur le terrain sont largement inférieurs à ceux déterminés en laboratoire (Malmstrom *et al.*, 2000; Bornhorst et Logsdon, 2016).

La sélection des types d'essais cinétiques à réaliser est généralement guidée par les différents objectifs (scénario d'empilement des stériles, prédiction du drainage minier acide ou drainage neutre contaminé, les variations des teneurs en métaux selon les variations du pH des eaux de drainage, les lithologies sources de métaux lixiviés et/ou de génération d'acide) et facteurs physiques (ex. granulométrie) que le protocole et l'entreprise exigent d'évaluer. Selon les exigences de connaissances requises pour nos évaluations, nous recommandons pour notre protocole de caractérisation géoenvironnemental les essais en colonnes, en cellules humides et/ou en cellules d'altération. Ces trois types d'essais nécessitent un espace restreint pour le montage d'équipement en laboratoire, ce qui permet d'effectuer simultanément des tests sur un grand nombre d'échantillons, incluant des duplicatas des tests. Ils sont également simples à réaliser, sont facilement reproductibles.

4.3.1.1 Les essais en colonnes (Golder, 2015)

Des essais en colonne sont réalisés sur des fragments de roche dont la dimension peut s'apparenter à ce que l'on observe dans la plupart des stériles miniers (Éthier, M.P., 2011; Plante *et al.*, 2014). Ce type d'essai est entre autres utilisé déterminer la possibilité de génération de drainage minier acide, circum-neutre ou alcalin ainsi que d'évaluer le potentiel et les taux de lixiviation des métaux. Ces scénarios peuvent utiliser un seul ou plusieurs types de lithologie par colonne qui seront empilés selon la séquence stratigraphique anticipée d'une halde à stériles. Ces configurations favorisent l'observation des modifications minéralogiques et géochimiques associées aux processus d'altération météorique qui peuvent se présenter dans une halde. Des modifications peuvent être apportées pour l'étude de différentes variantes de lixiviation, dont un écoulement continu ou une recirculation des eaux de rinçage (Éthier, M.P., 2011). La réalisation de ce type d'essai s'effectue sur une durée qui peut varier de 1 à 3 ans (Benzaazoua *et al.*, 2004).

4.3.1.1.1. Géochimie des lixiviats lors des essais en colonnes

Six essais cinétiques en colonnes ont été réalisés par Golder (2015) sur des échantillons composites de 12 kg comprenant l'ensemble des unités lithologiques du gisement Akasaba Ouest. Les essais se sont déroulés sur une période de 60 semaines (cycles) pour l'ensemble des colonnes, à l'exception de la colonne 5 de dacite #3 dont les essais n'ont été que de 48 semaines (cycles). Un volume d'eau de 6 litres représentant l'équivalent de deux semaines de pluie est versé dans chacune des colonnes avec un temps d'interaction liquide/solide de 10 heures pour la majorité des cycles. La quantité d'eau versée dans chacune des colonnes a été diminuée à 2 litres pour les cycles 4, 5 et 6, pour être par la suite augmentée à 10 litres au cycle 7 afin de simuler les conditions d'une crue soudaine. Par la suite, le volume d'eau versée dans les colonnes a été ramené à 6 litres à partir du cycle 8. Après chaque cycle d'une semaine chacun, le lixiviat est récupéré et analysé pour déterminer les paramètres physico-chimiques (pH, conductivité, alcalinité, acidité) ainsi que les concentrations en sulfates. Les échantillons de lixiviat qui ont été utilisés pour déterminer les concentrations en métaux ont été recueillis à la fin des cycles suivants : 0 à 5, 8, 10, 12, 16, 20 à 25, 27, 30, 33, 36, 40, 43, 46, 49, 53, 57 et 60 (dernier cycle).

Selon la nomenclature établie par Mines Agnico Eagle Ltée. et Golder (2015), les classifications lithologiques des fragments empilés dans chacune des colonnes sont présentées dans le tableau 4.11. Les correspondances entre les unités lithologiques et lithogéochimiques ainsi que les numéros des échantillons considérés pour les essais en mini cellules d'altération subséquents sont également présentés dans ce tableau. À l'exception de l'unité 2 de basaltes ferro titanifère, toutes les unités lithogéochimiques sont représentées dans les essais en colonnes. Pour l'ensemble des colonnes, les résultats indiquent que le pH des lixiviats est circum neutre à faiblement alcalin se situant entre 7,0 et 8,0. La conductivité et l'alcalinité se situent respectivement entre 30 et 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ et 5 à 15 mg/L pour l'ensemble de la durée des essais (Golder, 2015). L'acidité est généralement inférieure à 2 mg/L. Le comportement de la presque totalité des 32 métaux analysés se caractérise par une décroissance progressive des concentrations entre le début et la fin des essais. Ces résultats suggèrent que le taux d'oxydation des minéraux sulfurés demeure faible (Golder, 2015). Le molybdène (colonnes #2 et 3) et le manganèse (colonnes 4 et 5) présentent cependant une lixiviation progressive à des teneurs de quelques ppb à partir de la période comprise entre les semaines 25 et 40 des essais.

Tableau 4.11 : Comparaisons des nomenclatures lithologiques et lithogéochimiques

Colonne	Unités lithologiques (Golder <i>et Ass.</i> , 2015)	Unités lithogéochimiques	Échantillons mini cellules
1	Intrusion intermédiaire; dacite #3 et basalte (minerai mixte)	4A Dacite et tuf dacitique #1 5A Intrusion dacitique #2	AKA14-ENV-004 AKA14-ENV-035
2	Basalte (stérile)	1 Basalte andésitique 3 Andésite	AKA14-ENV-021 AKA14-ENV-070
3	Porphyre quartzo-feldspathique (QFP; stérile)	3 Andésite 4A Dacite, tuf et intrusion dacitique #1 5A Intrusion dacitique #2	AKA14-ENV-085
4	Tufs felsiques avec sulfures (stérile)	4A Dacite, tuf et intrusion dacitique #1 4B Andésite alcaline #1 5A Dacite et tuf dacitique #2 5B Andésite alcaline #2	AKA14-ENV-064 AKA14-ENV-067
5	Dacite 3 (stérile)	4A Intrusion dacitique #1	Aucun
6	Dacite 1 et Dacite 2 (stérile)	5B Andésite alcaline #2 4A Dacite, tuf et intrusion dacitique #1	AKA14-ENV-033 AKA14-ENV-051 AKA14-ENV-053 AKA14-ENV-075

La colonne #1 de minerai mixte ainsi que la colonne #4 composée de fragments de tuf felsiques minéralisés contenaient des échantillons minéralisés qui composeront les stériles miniers. Sur l'ensemble de la durée des essais, les résultats obtenus des analyses de lixiviats de la colonne #1 indiquent que ces derniers sont caractérisés par des teneurs très faibles à voire même sous la limite de détection pour les métaux tels As, Ba, Cd, Cr, Co, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sb et du SO₄. Pour certains métaux de la colonne #4, on observe une faible augmentation des concentrations allant de 2 ppb (Mn, Co, SO₄) à 10 ppb (Cu) pour la période comprise entre la 40^{ème} et la 60^{ème} semaine. De plus, les teneurs en cuivre présentent dans le lixiviat à partir de la 57^{ème} semaine sont supérieures au critère de qualité pour les eaux de résurgences en surface et d'infiltration dans les égouts (RESIE) qui est de 0,0073 mg/L.

Les résultats des essais cinétiques en colonnes ont été utilisés pour déterminer la capacité neutralisante des stériles. Les calculs d'épuisement minéralogiques ont été réalisés pour trois échantillons dont le minerai mixte, les tufs felsiques minéralisés et les dacites de type #1 et #2. Les résultats indiquent que la capacité de neutralisation du minerai mixte et des tufs felsiques sera épuisée avant celle du soufre des sulfures et que l'acidification pourrait se produire dans le futur. En fait, les résultats obtenus indiquent que l'épuisement des minéraux neutralisants du tuf felsique pourrait se produire entre 13 et 19 ans alors que pour les dacites de types #1 et #2, l'épuisement des minéraux neutralisants pourrait se produire d'ici 34 ans (Golder, 2015).

Une évaluation de la tendance à l'acidification a été réalisée pour chacune des lithologies selon la méthode de Benzaazoua *et al.*, (2004). Les courbes d'oxido-neutralisation utilisant les indicateurs d'acidification (sulfate) et de neutralisation (Mg+Ca+Mn) des échantillons et leurs extrapolations comparées aux compositions initiales de ces paramètres indiquent que les échantillons de minerai mixte et de tuf felsique sont potentiellement générateurs d'acide. Le cas des dacites #1 et #2 demeure incertain (Golder., 2015).

Les résultats obtenus des essais en colonnes indiquent une lixiviation progressive, mais très faible du manganèse a également été observée à partir de la semaine 25 de certains échantillons utilisés lors des essais en colonne, particulièrement pour les échantillons de tufs felsiques minéralisés (colonne 4) et de dacite #3 (colonne 5). Aucune augmentation ou variation significatives des

teneurs en manganèse n'a cependant été observée pour la colonne 2 composée de fragments de basaltes et d'andésites (Golder 2015) ainsi que sur les colonnes 1, 3 et 6.

4.3.1.2 Géochimie des lixiviats lors des essais en mini-cellules d'altération

Les essais cinétiques en mini cellules d'altération se sont déroulés sur une période de 111 jours (17 semaines) entre le 14 janvier et le 1^{er} mai 2016 dans les laboratoires de l'UQAT. Ces essais ont nécessité 33 cycles de rinçage/séchage selon une fréquence de deux cycles par semaines. Le principal objectif de l'utilisation des mini cellules d'altération est de provoquer une oxydation agressive et accélérée des minéraux sulfurés sur une petite quantité d'échantillons. L'un des avantages de l'utilisation des mini cellules est de pouvoir réaliser des essais simultanés sur une grande quantité d'échantillons. De plus, le nombre important d'analyses de lixiviats permet de faire une évaluation plus rigoureuse de la qualité des eaux de drainage et des variations chimiques temporelles associées aux interactions eau-roche. Cependant, la faible quantité d'eau de lixiviat recueillie pour chaque échantillon ne permet pas, après chaque cycle de rinçage, l'analyse combinée des métaux et de certains paramètres physico-chimiques dont l'alcalinité et l'acidité. Il est parfois nécessaire de combiner les lixiviats de deux cycles consécutifs afin de réaliser les analyses d'alcalinité et d'acidité. Le fait que la méthode des essais en mini cellules d'altération soit pour le moment peu documentée dans la littérature scientifique constitue un certain désavantage.

Avant de débiter les essais cinétiques en laboratoire, il est important de déterminer la composition minéralogique de chacun des échantillons ainsi que certaines propriétés physiques dont la granulométrie, la surface spécifique et la densité. La connaissance de ces paramètres sera essentielle pour favoriser l'interprétation des comportements chimiques des lixiviats pendant la durée des essais.

4.3.1.2.1 Compositions minéralogiques des échantillons

La sélection des échantillons qui seront soumis aux essais en mini cellules d'altération s'appuie dans un premier temps sur les compositions minéralogiques déterminées en microscopie optique ainsi que celles calculées en minéralogie normative. Les résultats obtenus avec ces deux méthodes d'identification seront également appuyés de ceux provenant de l'interprétation des spectres de diffraction X (Tableau 4.12). Cette comparaison permettra d'évaluer la fiabilité de nos calculs de minéraux normatifs qui ont été utilisés comme l'un des paramètres de référence pour la

discrimination de nos unités lithologiques et la sélection des échantillons à la fin des phases exploration et mise en valeur du gisement. La connaissance de la composition et de la proportion de chacune des phases minérales qui sont présentes dans nos échantillons permet de réaliser une meilleure interprétation des résultats des paramètres environnementaux PN, PA, PNN et RPN calculés précédemment et des essais cinétiques en colonne et en mini-cellules d'altération.

Les données présentées dans le tableau 4.12 indiquent les comparaisons suivantes entre les résultats des calculs normatifs et ceux de la diffraction X :

- a) La corrélation des proportions de quartz et d'albite de l'ensemble des échantillons est bonne selon les deux approches. La seule exception concerne l'échantillon de basalte AKA14-ENV 021 qui présente un écart de plus de 10 % des concentrations pour le quartz. Les échantillons minéralisés AKA14 ENV-004 et 035 présentent des écarts supérieurs à 16 % pour l'albite alors que pour les autres échantillons, les différences obtenues sont moins de 10 %. Ces écarts sont considérés acceptables en considérant que le quartz et l'albite sont les deux phases dominantes pour l'ensemble des échantillons;
- b) Pour les échantillons de basaltes andésitiques, les calculs de minéraux normatifs indiquent que la somme des deux variétés d'amphiboles (trémolite et actinote) est largement supérieure à la proportion d'actinote analysée en diffraction X. Nous prendrons en considération que les résultats obtenus par cette dernière méthode sont fiables et que la quantité combinée de trémolite et d'actinolite normatives peut être attribuée à une redistribution inadéquate du calcium, du fer et du magnésium dans les équations du logiciel. Comme nous le verrons dans une section ultérieure, seule l'actinote a été identifiée par le MEB dans ces échantillons;
- c) L'écart entre les proportions d'orthose est généralement inférieur de 6,5 % entre les deux méthodes. Comme les quantités d'orthose sont faibles dans les échantillons, nous considérons ces écarts acceptables;
- d) Les écarts entre les proportions de chlorite et d'épidote sont faibles pour l'ensemble des échantillons. Nous considérons que les résultats obtenus sont fiables;
- e) Aucune quantité de biotite normative n'a été identifiée dans les échantillons. Cependant, de la biotite a été reconnue au MEB pour l'échantillon de basalte andésitique AKA14-ENV-021.

Tableau 4.12 : Comparaison des compositions minéralogiques normatives et de diffraction X

Minéral	AKA14-ENV-021		AKA14-ENV-070		AKA14-ENV-004		AKA14-ENV-064	
	Unité 1				Unité 4A			
	Basaltes andésitiques				Dacites et tufs dacitiques			
	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)
Quartz	10,2	20.16		2,73	36,7	35,65	34,2	34,86
Albite	14,6	21.05	12,5	16,12	16,9	38,45	16,4	20,05
Labradorite								
Tremolite	18,9		27,2					
Actinote	16,3	14.43	20	31,57				
Orthose	6,9	0.48	1,6	1,6		2,40		
Muscovite					21,6	15,51	22,1	
Chlorite	0,20	2.17		1,77	10,7	4,21	14,0	10,07
Biotite		5.83		2,28				
Paragonite					0,6		1,5	3,52
Épidote	25,6	30.35	31,8	39,04	4,9	2,03	5,8	6,40
Apatite	0,19		0,11		0,35		0,3	
Titanite	2,3		1,8		1,0		1,7	
Calcite	1,43	3.95	2,29	4,54		2,72	0,2	2,43
Rhodocrosite	0,20		0,24					
Magnétite			2,1					
Hématite	1,9				1,7		1,3	
Anatase (rutile)								
Ilménite					0,5			
Pyrite	0,9		0,2		4,9	1,03	2,1	0,96
Chalcopyrite	0,3		0,1		0,6		0,4	

Tableau 4.12 (suite)

Minéral	AKA14-ENV-033		AKA14-ENV-085		AKA14-ENV-067		AKA14-ENV-035	
	Unité 4A Intrusions dacitiques et QFP				Unité 4B Andésites alcalines		Unité 5A Dacites et tufs dacitiques	
	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)
Quartz	26,3	26,80	14,9	18,59	27,2	26,60	33,4	37,96
Albite	32,5	38,50	40,6	50,20	38,3	44,79	38,3	21,89
Labradorite					0,91			
Tremolite								
Actinote			3,3	13,16				
Orthose	3,4	2,28		4,13	1,6	2,41	3,1	4,26
Muscovite	9,9	14,5	9,9	1,21	13,6	14,16	13,6	11,41
Chlorite	14,9	8,60	10,4	5,85	12,7	7,49	6,5	10,76
Biotite								
Paragonite								2,90
Épidote	10,0	8,44	13,6	6,85	2,8		3,9	5,55
Apatite	0,25		0,4		0,4		0,2	
Titanite	1,0		1,0		1,4		0,6	
Calcite		0,88			0,2	4,54	0,7	2,36
Rhodocrosite								
Magnétite								
Hématite	1,0		0,9		1,0		0,7	
Anatase (rutile)								
Ilménite								
Pyrite	0,4		0,3	0,45			1,6	2,69
Chalcopyrite	0,2				0,7		0,4	

Tableau 4.12 (suite)

Minéral	AKA14-ENV-051		AKA14-ENV-053		AKA14-ENV-075	
	Unité 5B – Andésites alcalines					
	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)	Normatif (%)	DRX (%)
Quartz	22,5	23,85	21,0	24,33	27,2	29,08
Albite	46,8	55,74	47,5	58,13	40,2	43,31
Labradorite						
Tremolite						
Actinote						
Orthose	0,2	5,20		0,29	1,3	3,50
Muscovite	12,3	2,53	8,0		13,0	9,78
Chlorite	6,0	6,91	6,8	6,13	6,1	5,59
Biotite						
Paragonite			1,7			
Épidote	7,5	1,51	10,5	6,89	7,3	3,0
Apatite	0,17		0,14		0,2	
Titanite	0,6		0,6		0,7	
Calcite	2,0	3,24	2,5		0,9	3,80
Rhodocrosite						
Magnétite						
Hématite	0,6		0,6		0,7	
Anatase (rutile)						
Ilménite						
Pyrite	1,1	1,04	0,5	0,53	2,1	1,05
Chalcopyrite					0,1	

- f) La calcite est le seul carbonate qui a été identifié par calculs normatifs ainsi que par diffraction X dans les échantillons. À l'exception de quelques échantillons, les proportions de ce minéral sont généralement inférieures à 4,5 %. On note également que les quantités de calcite évaluées par diffraction X sont généralement supérieures à celles calculées sur la base des teneurs en C_{total} . Il est possible que cet écart soit associé au fait que les résultats des analyses de diffraction X n'ont pas été réconciliés avec les données des analyses chimiques;
- g) Il y a une corrélation entre les quantités de sulfures obtenues par les deux méthodes de quantification pour les échantillons dont les proportions de pyrite et/ou de chalcopryrite normatives sont inférieures à 1 %. Il faut cependant mentionner que la limite de quantification minéralogique de la diffraction X est ≤ 1 % et que les valeurs obtenues sous ce seuil sont imprécises. On observe que les quantités normatives peuvent être de 2 à 4 fois supérieures que celles mesurées en diffraction X (ex. AKA14 ENV-004; 064 et 075) pour les échantillons dont le contenu en sulfures (pyrite) est supérieur à 1 %. Seul l'échantillon de minerai AKA14 ENV-035 est caractérisé par un contenu en pyrite mesuré par diffraction X qui est de 2 fois supérieur à celui obtenu des calculs normatifs.

Les résultats obtenus de la DRX indiquent que les résultats des calculs de minéraux normatifs peuvent être fiables pour effectuer la discrimination des unités géologiques dans le protocole de caractérisation géoenvironnementale. Les résultats des calculs de minéraux normatifs peuvent également être utilisés pour sélectionner les échantillons qui ont été utilisés pour les travaux proposés aux étapes de mise en valeur et de préfaisabilité.

4.3.1.2.2 Détermination des paramètres physiques initiaux des échantillons

Certaines propriétés physiques, dont la dimension et la surface spécifique des grains ainsi que la densité, ont été déterminées pour les échantillons soumis aux essais cinétiques en mini cellules d'altération et sont présentées dans le tableau 4.13. Les valeurs granulométriques rapportées dans ce tableau correspondent à la dimension médiane évaluée par une courbe granulométrique. Les résultats obtenus indiquent que les valeurs D_{50} se situent entre 370 μm et 560 μm , à l'exception de l'échantillon AKA14 ENV-085 dont le D_{50} de 650 μm . Bien que cette dimension représente des échantillons de mini-cellules, cette dimension granulométrique n'est pas représentative de la granulométrie d'une halde à stérile sur le terrain. La dimension et la forme des grains sont les deux

principaux paramètres qui auront une influence sur la valeur de la surface spécifique puisque la surface spécifique par unité de masse des grains augmentera exponentiellement avec la diminution de la taille des particules (Birkeland, 1974). La connaissance de ce paramètre est donc importante puisque les métaux potentiellement lixiviés suite aux interactions eaux-roches seront plus susceptibles d'être associés aux secteurs d'une halde contenant de fortes proportions de fines particules.

Tableau 4.13 : Principales propriétés physiques des échantillons

Échantillon	D ₅₀ (μm)	Surface spécifique (m^2/g)	Densité (g/cm^3)
AKA14 ENV-021	500	0,25	3,03
AKA14 ENV 070	560	0,12	3,21
AKA14 ENV 064	480	0,61	2,93
AKA14 ENV 004	460	0,49	2,92
AKA14 ENV 033	370	0,48	2,80
AKA14 ENV 085	650	0,30	2,87
AKA14 ENV 067	510	0,40	2,92
AKA14 ENV 035	510	0,52	2,77
AKA14 ENV 051	500	0,51	2,83
AKA14 ENV 053	510	0,38	2,79
AKA14 ENV 075	560	2,29	2,82

Les résultats des analyses de surfaces spécifiques indiquent que les échantillons de basaltes andésitiques possèdent une surface spécifique allant de 0,12 à 0,25 m^2/g alors que la surface spécifique des échantillons de dacites et d'andésites alcalines varie de 0,30 à 0,61 m^2/g . La seule exception est l'échantillon AKA14 ENV-075 d'andésite alcaline de l'unité 5B dont la surface spécifique est de 2,29 m^2/g .

La densité correspond au dernier paramètre physique à être considéré pour les échantillons. Bien que ce paramètre ne soit pas essentiel à connaître pour l'interprétation des essais cinétiques, il peut donner des informations sur la nature de l'échantillon ainsi que sur la proportion relative de minéraux sulfurés présents dans ceux-ci. Le tableau 4.13 indique que les échantillons de basaltes

andésitiques ont une densité allant de 3,03 à 3,21 g/cm³ alors que les échantillons de dacites, tufs et intrusions dacitiques ainsi que d'andésites alcalines sont caractérisés par des densités allant de 2,77 à 2,93 g/cm³. Selon la littérature, les valeurs de densité pour les basaltes varient de 2,70 à 3,30 g/cm³ alors que celles pour les andésites et dacites varient de 2,4 à 2,8 g/cm³ (Telford, Geldart, Sheriff, et Keys, 1976). La comparaison entre les données de la littérature et celles obtenues suggère que nos échantillons sont peu à faiblement minéralisés.

4.3.1.2.3 Paramètres physico-chimiques des lixiviats

Les principaux paramètres physico-chimiques qui ont été mesurés en laboratoire lors d'essais en mini-cellules d'altération sont le pH, le potentiel d'oxydo réduction (Eh), la conductivité électrique, l'alcalinité et l'acidité (Annexe F). Pour l'ensemble des échantillons, les valeurs de pH sont légèrement alcalines (pH de 8) au début de la période et suivent par la suite une légère tendance à la baisse pour osciller entre 7,0 et 8,0 jusqu'à la fin de la période d'essais. Pour tous les échantillons, les valeurs de Eh varient entre 550 et 650 mV pour la durée des essais. Cependant, les échantillons d'intrusion porphyrique AKA14-EVN-085 (unité 4A) et ceux d'andésites alcalines AKA14-ENV-051 et 053 (unité 5B) sont caractérisés par une baisse des valeurs de Eh après 100 jours à des valeurs situées entre 469 et 505 mV.

Les valeurs de conductivité électrique mesurées pour l'ensemble des échantillons sont généralement inférieures à 75 µS/cm² sur la durée totale des essais. Ces résultats sont semblables à ceux obtenus pour les essais en colonne. Cependant, les deux échantillons de basalte andésitique et l'échantillon AKA14-ENV-053 d'andésite alcaline (unité 5B) présentent un pic atteignant à 100 µS/cm² entre le 90^e et le 100^e jour. Les valeurs d'alcalinité sont inférieures à 60 mg/L CaCO₃ alors que les résultats d'acidité sont inférieurs à 5 mg/L (CaCO₃). Cette dernière valeur correspond à la limite analytique de l'appareil. Les valeurs d'alcalinité et d'acidité mesurées tout au long des essais en mini cellule d'altération ainsi sont semblables à celles obtenues lors des essais en colonnes réalisés par Golder (2015).

4.3.1.2.4 Les analyses chimiques de lixiviats et variations des concentrations en métaux

Les lixiviats obtenus ont été analysés après chaque cycle de rinçage pour déterminer les concentrations de 28 éléments chimiques, incluant les métaux et le soufre total. Les résultats obtenus pour le Ca, Mn, Cu et S_{total} sont présentés aux figures 4.19 à 4.22 alors que les diagrammes

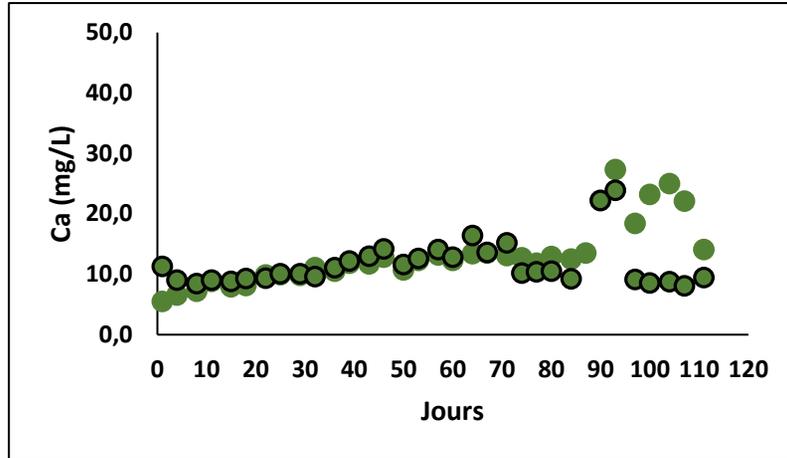
pour le Mg, Na, K, Si et Al sont présentés à l'Annexe G. Dans les prochaines sections, les comportements généraux de ces éléments sont présentés, avec une emphase sur trois métaux (Ca, Mn et Cu) et le S_{total} qui présentent des variations de leurs concentrations pendant les essais.

La figure 4-19 présente les profils de variations des concentrations en calcium selon les différents types de lithologies de stériles et de minerais du gisement Akasaba Ouest. On observe une faible augmentation des concentrations dans les lixiviats sur la durée totale des essais pour les échantillons de basaltes andésitiques de l'unité 1 (AKA14 ENV-021 et 070) et d'andésites alcalines de l'unité 5B (AKA14 ENV-053 et 075). Pour les échantillons de basaltes andésitiques, cette augmentation s'accompagne également d'un pic des concentrations entre le 90^e et le 110^e jour des essais. Pour tous les autres échantillons, les concentrations en Ca demeurent stables ou présentent une diminution progressive du début jusqu'à la fin des essais.

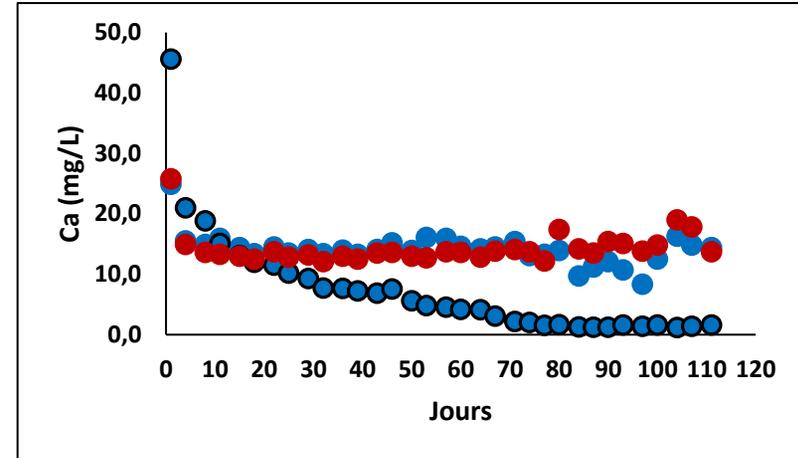
Les variations des concentrations en manganèse semblent dans certains cas corrélées avec celles observées pour le calcium (Figure 4-20). Pour les échantillons de basaltes andésitiques, les variations des concentrations en manganèse sont prononcées et les concentrations cumulées en manganèse lixiviées sur la durée totale des essais sont de 1371 ppb (1,371 ppm) entre les jours 36 à 111 des essais (AKA14 ENV-021) et 592 ppb entre les jours 57 et 111 (AKA14 ENV-070). Les profils de variations pour les deux métaux sont relativement semblables pour les échantillons des unités 5A (AKA14 ENV-035) et 5B, à l'exception de l'échantillon AKA14-ENV-051.

De plus, les échantillons AKA14 ENV 064 (unité 4A) et 067 (unité 4B) présentent une augmentation faible, mais progressive des concentrations en manganèse à partir du 40^e jour des essais en mini-cellules d'altération alors que les teneurs en calcium montrent une décroissance à partir de cette période (Figures 4.19 et 4.20). Une lixiviation progressive du manganèse a également été observée à partir de la semaine 25 de certains échantillons utilisés lors des essais en colonne, particulièrement pour les échantillons de tufs felsiques minéralisés (colonne 4) et de dacite #3 (colonne 5). Aucune augmentation ou variation significative des teneurs en manganèse n'a cependant été observée pour la colonne 2 composée de fragments de basaltes et d'andésites (Golder 2015) ainsi que sur les colonnes 1, 3 et 6.

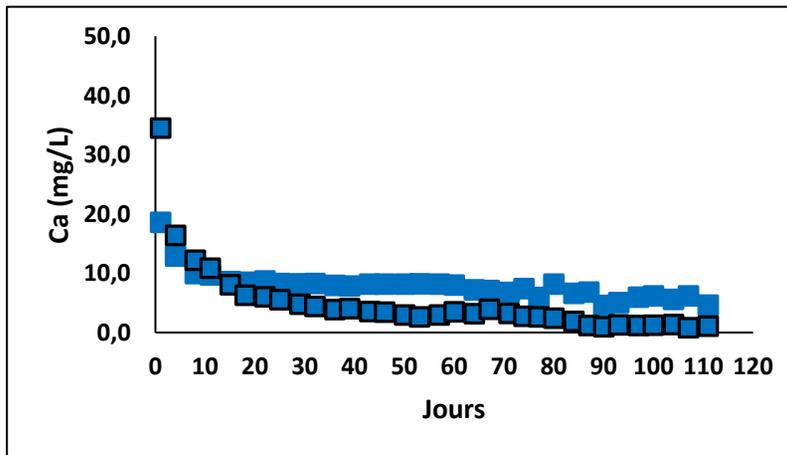
Le cuivre constitue un autre élément qui présente des variations de concentration dans les lixiviats lors des essais en mini cellules d'altération. On observe qu'entre le début et le 30^e jour des essais,



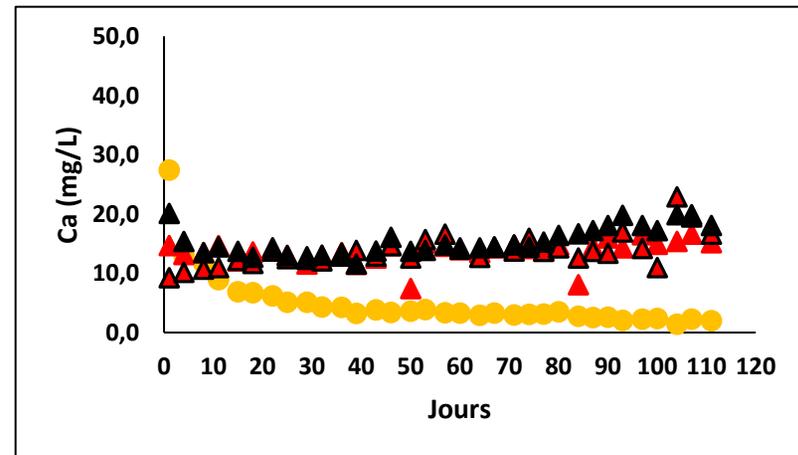
A) Basaltes andésitiques (unité 1)
 (AKA14 ENV-021 (●) et AKA14 ENV 070 (●))



B) Dacites unité 4A : AKA14 ENV-064 (●)
 AKA14 ENV 004 (●) et unité 5A AKA14 ENV 035 (●)

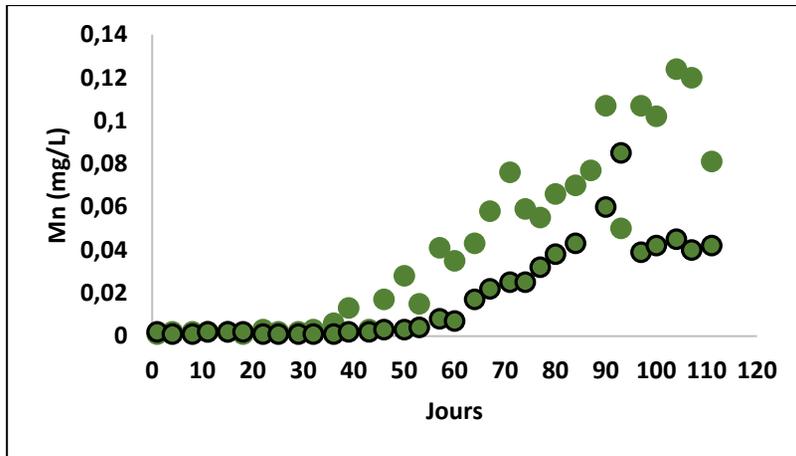


C) Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A) ;
 AKA14 ENV-085 (■) et AKA14 ENV-033 (■)

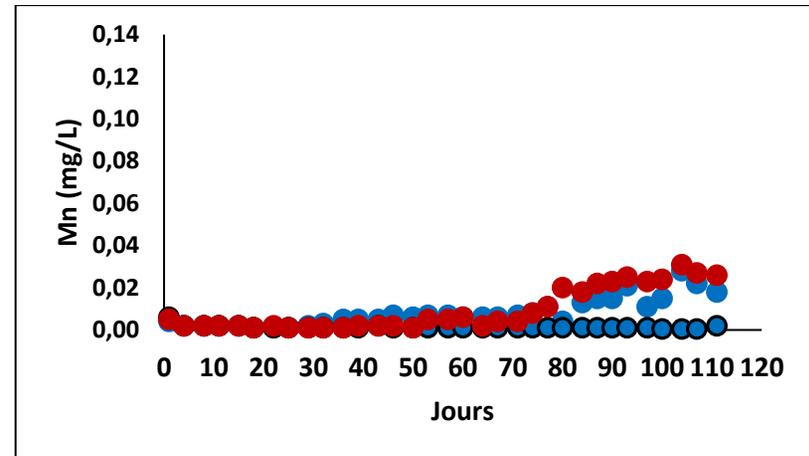


D) Andésites Alcalines (unité 4B) AKA14 ENV-067 (●),
 (unité 5B); ENV-051 (▲), ENV-053 (▲), ENV-075 (▲)

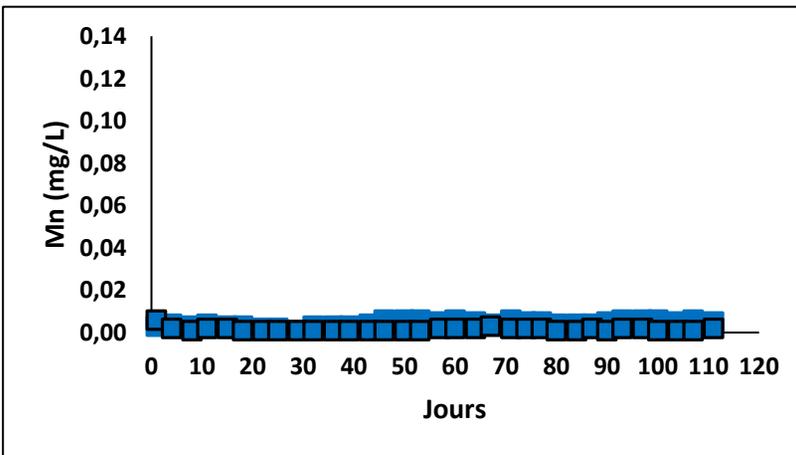
Figure 4-19 : Analyses des lixiviat (Ca) des échantillons en mini cellules d'altération



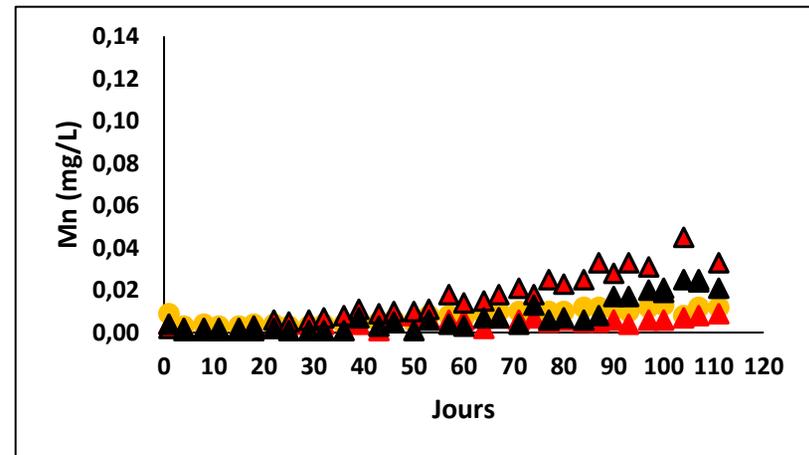
A) Basaltes andésitiques (unité 1)
AKA14 ENV-021 (●) et AKA14 ENV 070 (●)



B) Dacites unité 4A : AKA14 ENV-064 (●)
AKA14 ENV 004 (●) et unité 5A AKA14 ENV 035 (●)

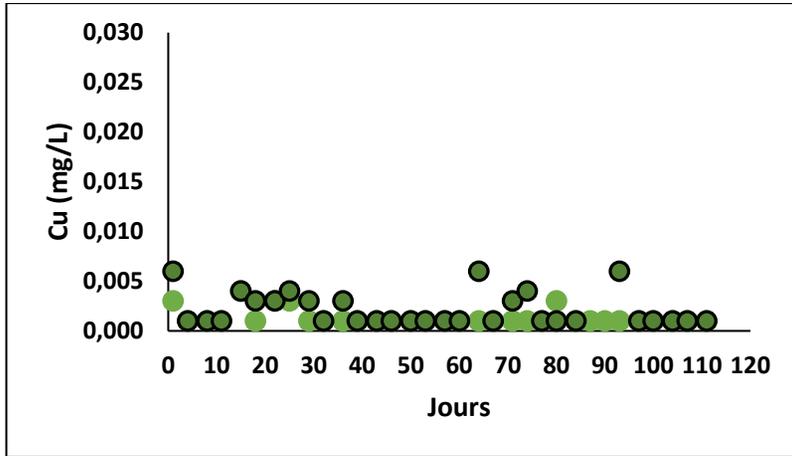


C) Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A) ;
AKA14 ENV-085 (■) et AKA14 ENV-033 (■)

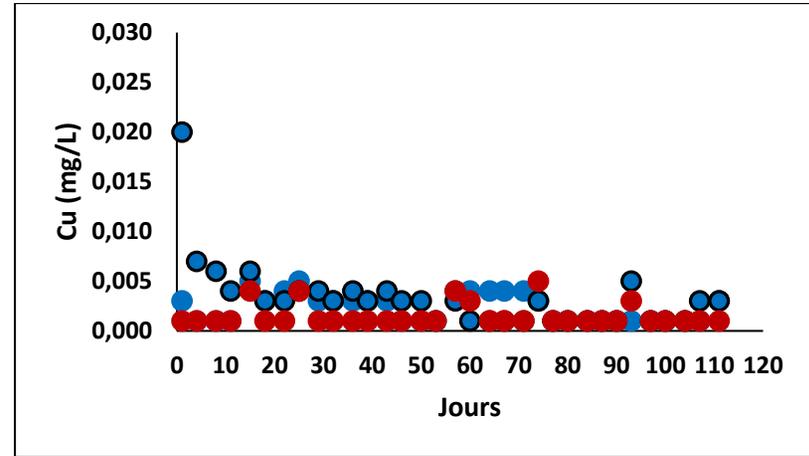


D) Andésites Alcalines (unité 4B) AKA14 ENV-067 (●),
(unité 5B); ENV-051 (▲), ENV-053 (▲); ENV-075 (▲)

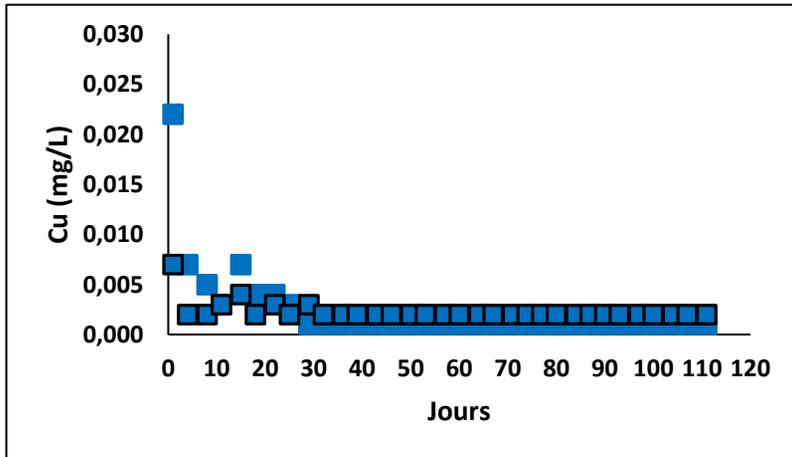
Figure 4-20 : Analyses des lixiviat (Mn) des échantillons en mini cellules d'altération



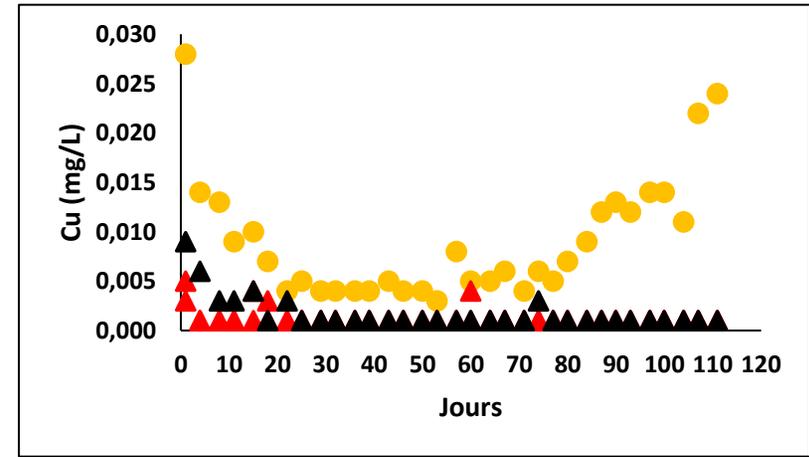
A) Basaltes andésitiques (unité 1)
 (AKA14 ENV-021(●) et AKA14 ENV 070 (●))



B) Dacites unité 4A : AKA14 ENV-064 (●)
 AKA14 ENV 004 (●) et unité 5A AKA14 ENV 035 (●)

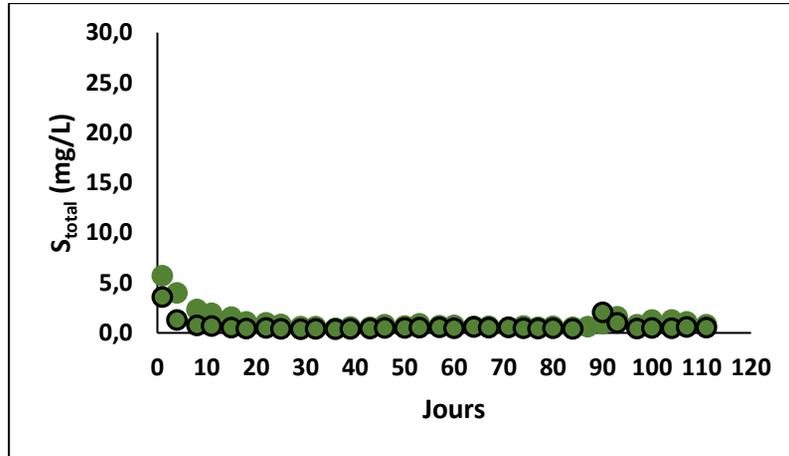


C) Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A) ;
 AKA14 ENV-085 (■) et AKA14 ENV-033 (■)

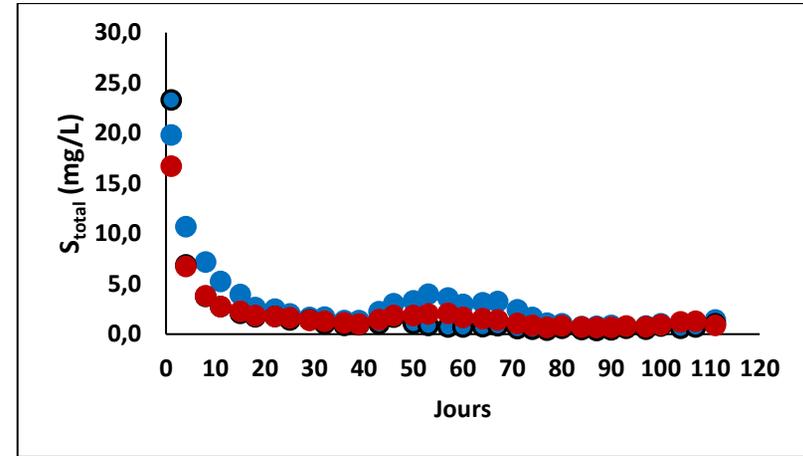


D) Andésites Alcalines (unité 4B) AKA14 ENV-067 (●),
 (unité 5B); ENV-051 (▲); ENV-053 (▲), ENV-075 (▲)

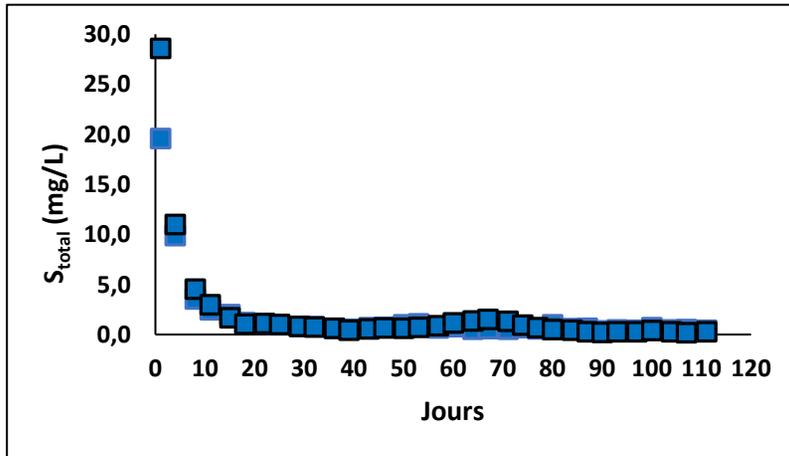
Figure 4-21 : Analyses des lixiviat (Cu) des échantillons en mini cellules d'altération



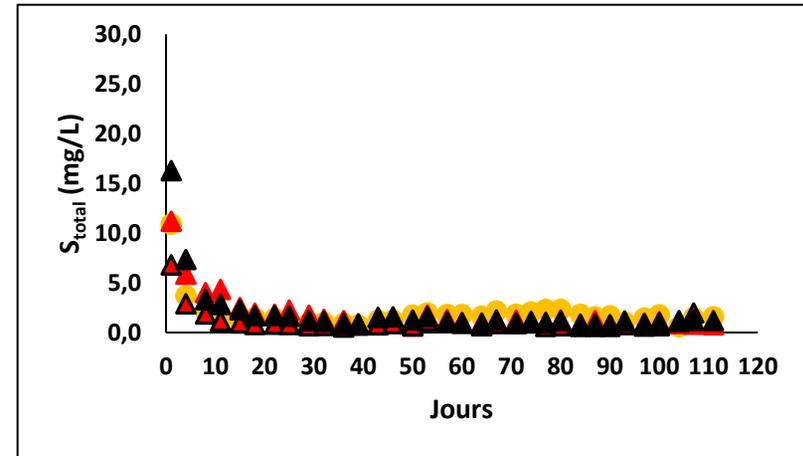
A) Basaltes andésitiques (unité 1)
 (AKA14 ENV-021 (●) et AKA14 ENV 070 (●))



B) Dacites unité 4A : AKA14 ENV-064 (●)
 AKA14 ENV 004 (●) et unité 5A AKA14 ENV 035 (●)



C) Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A) ;
 AKA14 ENV-085 (■) et AKA14 ENV-033 (■)



D) Andésites Alcalines (unité 4B) AKA14 ENV-067 (●),
 (unité 5B); ENV-051 (▲); ENV-053 (▲), ENV-075 (▲)

Figure 4-22 : Analyses des lixiviat (S_{total}) des échantillons en mini cellules d'altération

les teneurs en Cu oscillent entre les valeurs de la limite de détection et celle du critère d'usage pour les eaux de surface et infiltration dans les égouts (RESIE) de 0,0073 mg/L (Figure 4-21). Cette observation s'applique particulièrement au début des essais pour les échantillons AKA14-ENV-085 et 004 (unité 4A) ainsi que celles de l'échantillon AKA14-ENV-075 (unité 5A). Un lessivage important lors des premières phases de rinçage serait associé à la solubilisation de métaux qui sont faiblement adsorbés à la surface de minéraux ou à la présence de sels solubles qui ont été produits par les processus d'oxydation. Ce processus est particulièrement observé dans certains échantillons pour les métaux alcalins tels le Ca, K, Na et Mg (Figure 4-22 et Annexe G).

Pour les échantillons AKA14-ENV-085, AKA14-ENV-004 et AKA14-ENV-075, le comportement du soufre présente une diminution progressive des teneurs dès le début des essais alors que les teneurs en cuivre demeurent près ou sous les limites de détection analytique pour les autres échantillons (Figure 4-22). Le profil de l'échantillon de tuf felsique minéralisé AKA14-ENV-067 (unité 5B) montre que les teneurs en Cu au début des essais dépassent les critères du RESIE. Le même phénomène est observé à partir du 80^e jour des essais où l'on observe à nouveau une lixiviation du Cu et une augmentation importante des teneurs lixiviées allant de 0,007 pour atteindre 0,024 mg/L à la fin des essais (Figure 4-21). Les concentrations en soufre pour cet échantillon demeurent cependant très faibles et ne présentent aucune variation pendant cette même période. Des variations similaires en cuivre au début et à la fin des essais ainsi qu'un dépassement des critères du RESIE ont également été observées pour les échantillons de la colonne 4 composés de tuf felsiques minéralisés.

Pour tous les échantillons, les profils des teneurs en soufre présentent une diminution rapide dans les premiers jours des essais et demeurent généralement plats jusqu'à la fin de ces derniers (Figure 4-22). De plus, les échantillons AKA14-ENV-033, 035, 064 et 067 sont caractérisés par la formation d'un dôme associé à une faible augmentation des teneurs suivie par une diminution pour revenir à des teneurs près de la limite de détection entre les 40^{ème} à 80^{ème} jours. La cause de ces variations pourrait être associée à un changement dans les conditions des essais. À titre d'exemple, un assèchement des échantillons ou la création de micro fissures favorisant des écoulements préférentiels pourraient provoquer une seconde lixiviation de soufre fixé sur les surfaces de particules et qui serait similaire à ce qui se produit dans les premiers jours des essais. Comme les teneurs en fer sont demeurées sous la limite de détection de 0,006 mg/L (Annexe F), il nous semble peu probable d'associer cette seconde lixiviation du soufre à un processus d'oxydation des sulfures.

Les profils de plusieurs échantillons présentent une bonne corrélation des variations des concentrations en silicium et en aluminium (Annexe G). Ces profils sont caractérisés par la présence de sommets uniques ou doubles qui sont particulièrement plus prononcés pour l'aluminium et parfois plus subtils pour le silicium. De plus, certains pics en calcium (17,0 à 27,3 mg/L), magnésium (0,34 à 0,83 mg/L) et potassium (4,2 à 5,7 mg/L; basaltes andésitiques) observés entre la période de 90 à 100 jours pour les échantillons de basaltes andésitiques (AKA14 ENV-021, 070) et de dacites de l'unité 4A (AKA14 ENV-053) correspondent également à des pics en silicium et aluminium. De tels profils ne sont pas observés pour d'autres métaux alcalins dont le potassium et le sodium. La formation de ces sommets pourrait être associée à une dissolution partielle et variable de minéraux silicatés selon certaines périodes des essais en mini cellules. Des variations des concentrations en aluminium formant des doubles sommets sont également reconnues pour les échantillons de basaltes et de QFP des colonnes 2 et 3 (Golder, 2015). Les concentrations cumulées de magnésium lixiviées entre les essais #1 à #10 (5 semaines) sont plus importantes pour les échantillons de basaltes andésitiques (20,4 et 29,3 mg/L) que pour les autres lithologies (5,8 à 16,2 mg/L). Les profils des concentrations en potassium et en sodium sont caractérisés par une diminution rapide des concentrations de ces deux éléments dans les premiers jours des essais pour atteindre des concentrations qui sont sous les limites de détection par la suite. Cette baisse de concentration serait associée à un lessivage de ces métaux faiblement adsorbés à la surface des minéraux composant les échantillons. Les métaux (Ba, Mo, Ni, Cr et As) qui ont été évalués lors de la phase de mise en valeur du projet comme représentant un risque potentiel pour l'environnement ont tous été lixiviés à de très faibles concentrations (< 20 ppb) ou à des teneurs qui se situent sous les limites de détections de l'appareil lors des essais cinétiques (Annexe F).

4.3.1.2.5 Calculs des taux d'épuisement

Afin d'évaluer si les échantillons sont susceptibles de générer un drainage minier acide, il est important de déterminer les taux d'épuisement des phases minérales susceptibles de générer des ions H^+ (acidité) ainsi que l'épuisement des phases qui possèdent une capacité de neutraliser ces ions. Si les phases susceptibles de générer de l'acidité s'épuisent plus rapidement que les principales phases neutralisantes, le drainage résultant sera à pH circum-neutre. Dans le cas inverse, il y aura génération de drainage acide.

Les études minéralogiques réalisées sur nos échantillons indiquent que seules la pyrite (FeS_2) et la chalcopryrite (CuFeS_2) seront susceptibles de libérer des ions H^+ lorsqu'elles seront exposées à la présence d'eau et d'oxygène. Ces mêmes études indiquent que pour les échantillons d'Akasaba Ouest, la calcite (CaCO_3) constitue la principale phase acidivore susceptible de neutraliser l'acidité générée par l'oxydation de la pyrite et de la chalcopryrite. Les calculs de minéraux normatifs indiquent que la proportion de calcite présente dans les lithologies encaissantes du gisement est inférieure à 10 %.

Les réactions d'oxydation de la pyrite et de la chalcopryrite ainsi que les réactions de neutralisation de l'acide par la calcite indiquent que du soufre sous la forme sulfate et du calcium sont libérés et sont présents dans les eaux de lixiviation. Nous utiliserons les concentrations en S_{total} et Ca des lixiviats récoltés après chaque essai pour calculer les quantités de ces éléments extraits et les cumuler sur l'ensemble de la période des essais en mini-cellules d'altération. Les masses sont par la suite utilisées pour tracer la droite d'épuisement qui est utilisée pour calculer le taux d'épuisement des principaux minéraux acidifiants et neutralisants présents dans les échantillons (Benzaazoua *et al.*, 2004) Quelques échantillons (ex. AKA14 ENV-064, AKA14 ENV-035 et AKA14 ENV-067) présentent au cours des essais une faible augmentation suivie d'une diminution (dôme) des teneurs en S_{total} pendant une certaine période de temps. Les causes de ces variations ne sont pas actuellement pas identifiées, mais pourrait être de nature analytique. Afin de simplifier l'évaluation des taux d'épuisement pour le S_{total} , il a été choisi de lisser les valeurs sur la période concernée par ces variations (Benzaazoua, communication personnelle, 2017).

Les taux d'épuisement correspondent au temps estimé pour dissoudre totalement les phases acidogènes et acidivores si les facteurs cinétiques de dissolution demeurent stables tout au long de l'essai ainsi que pendant toute la durée d'exposition aux conditions climatiques similaires des stériles entreposés dans les haldes (Benzaazoua *et al.*, 2004). De plus, les interprétations s'appliquent pour les matériaux utilisés pour nos essais en mini-cellules d'altération, particulièrement en regard à la masse et la granulométrie. Les résultats des calculs des temps d'épuisement des concentrations en S_{total} et Ca, les tracés des droites d'oxydo-neutralisation ainsi que les comparaisons entre les concentrations initiales des échantillons et leurs droites d'oxydo-neutralisation respectives sont présentés au tableau 4.14, à la Figure 4-23 et à l'Annexe H. Ces résultats indiquent que les échantillons de basaltes andésitiques de l'unité 1 possèdent un potentiel de génération d'acide allant de très faible

Tableau 4.14 : Prédiction de la qualité du drainage minier basée sur les calculs d'épuisement des essais en mini-cellules d'altération

No. Échantillon	Unité	Type	Épuisement S_{total} (années)	Épuisement Ca (années)	PGA Épuisement	PGA Oxydo-Neutralisation	Équation Oxydo-Neutralisation
AKA-ENV-021	1	Stérile	91	137	Très faible	Incertain	$Ca = (20,21 * S_{tot}) - 200$
AKA-ENV-070	1	Stérile	27	137	Très faible	Très faible	$Ca = (5,25 * S_{tot}) - 80$
AKA-ENV-064	4A	Stérile	55	14	Possible	Possible	$Ca = (11,61 * S_{tot}) - 300$
AKA-ENV-004	4A	Minerai	274	34	Possible	Possible	$Ca = (6,94 * S_{tot}) - 100$
AKA-ENV-085	4A	Stérile	39	91	Très faible	Très faible	$Ca = (10,92 * S_{tot}) - 230$
AKA-ENV-033	4A	Stérile	45	456	Très faible	Très faible	$Ca = (5,68 * S_{tot}) - 120$
AKA-ENV-067	4B	Stérile	34	39	Incertain	Très faible	$Ca = (1,73 * S_{tot}) + 25$
AKA-ENV-035	5A	Minerai	91	14	Possible	Possible	$Ca = (15,54 * S_{tot}) - 300$
AKA-ENV-051	5B	Stérile	55	34	Possible	Possible	$Ca = (17,50 * S_{tot}) - 120$
AKA-ENV-053	5B	Stérile	91	27	Possible	Possible	$Ca = (12,47 * S_{tot}) - 200$
AKA-ENV-075	5B	Stérile	91	27	Possible	Possible	$Ca = (12,6 * S_{tot}) - 240$

(AKA14-ENV 070) à incertain (AKA14-ENV 021). Le caractère incertain de PGA pour l'échantillon AKA14 ENV 021 est interprété sur la position des concentrations initiales en S_{total} et Ca qui sont très près de la droite d'oxydo-neutralisation ainsi que sur la teneur en S_{total} de 0,56 % de l'échantillon (Annexes C et H). Les échantillons de l'unité 4A sont considérés posséder soit un potentiel de génération acide allant de très faible à possible. Les volcanites de composition dacitiques AKA14-ENV 064 et AKA14 ENV-004 appartiennent aux stériles et au minéral et ce, même si les teneurs en S_{total} sont respectivement de 1,26 % et de 2,02 % indiquant qu'elles possèdent une certaine proportion de sulfures. Ces échantillons sont caractérisés par des temps d'épuisement du calcium qui sont de quatre à huit fois plus rapides que ceux du soufre total. Ils sont donc considérés comme générateurs d'acide (Tableau 4.14, Annexe H). Les échantillons d'intrusion dacitique et d'intrusion QFP (AKA14-ENV-033 et AKA14 ENV-085) possèdent un temps d'épuisement du S_{total} qui est 2,5 à 10 fois plus rapide que ceux du calcium et des teneurs en $S_{total} < 0,3$ % (Annexe C). Ces échantillons sont ainsi caractérisés par un potentiel de génération acide très faible (Tableau 4.14, Annexe H). Les résultats de l'échantillon d'andésite alcaline AKA14ENV-067 de l'unité 4B indiquent que celui-ci possède un potentiel de génération acide qui varie d'incertain selon les taux d'épuisement à très faible selon les interprétations des concentrations initiales en Ca et S_{total} de l'échantillon et la droite d'oxydo-neutralisation (Annexe H). Cette interprétation serait également appuyée par une faible teneur en S_{total} de 0,26 % (Annexe C).

L'échantillon AKA14 ENV-035 de dacite de l'unité 5A est considéré comme générateur d'acide avec un temps d'épuisement de 14 ans pour le calcium comparativement à 91 ans pour le soufre (Tableau 4.14, Annexe H). Il s'agit cependant d'un échantillon de minéral qui contient une teneur en S_{total} de 1,00% (Annexe C). Les trois échantillons d'andésite alcaline de l'unité 5B (AKA14 ENV-051, AKA14 ENV-053 et AKA14 ENV-075) possèdent un potentiel acidogène possible étant caractérisé par des rapports de temps d'épuisement entre le soufre total et le calcium très variables allant de 1,6 (AKA14 ENV-053) à 3,4 (AKA14 ENV-053 et 075). Ces rapports semblent présenter une certaine corrélation avec les teneurs en S_{total} des échantillons (Annexe C). Comparativement à l'échantillon AKA14 ENV-053, on observe que pour des teneurs similaires en S_{total} de 0,26 % et 0,27 %, l'échantillon (AKA14 ENV-033) de l'unité 4A possède un taux d'épuisement du calcium qui est 3 fois plus élevé que celui du S_{total} . Cette observation suggère : a) qu'une teneur en S_{total} inférieure à 0,3 % est susceptible de provoquer de la génération d'acide, b) que la teneur en S_{total}

dans un gisement ne peut être uniquement utilisée pour discriminer les zones potentiellement génératrices d'acide et c) que des essais cinétiques doivent être réalisés pour des échantillons dont les concentrations en S_{total} sont près de 0,3 %.

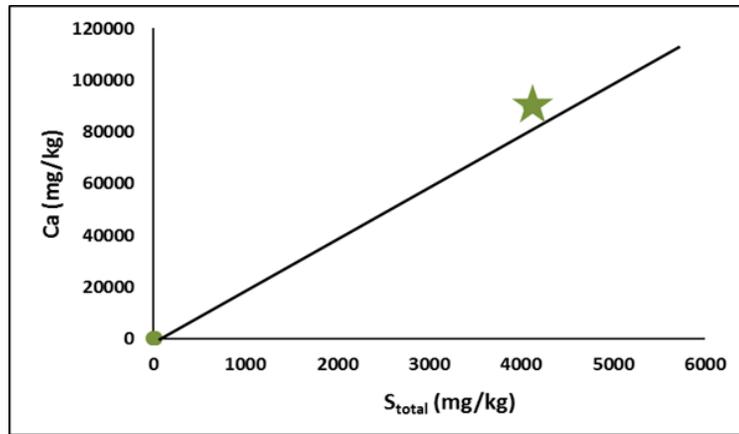
4.3.1.2.6 Droites d'oxydo-neutralisation et potentiel de génération acide

Les concentrations cumulées pour le S_{total} et le calcium des lixiviats obtenus lors de nos essais cinétiques seront utilisées pour établir la droite d'oxydo-neutralisation de chacun des échantillons (Figure 4-23). En insérant à leurs positions respectives la composition initiale en S_{total} et Ca chacun de nos échantillons, les droites d'oxydo-neutralisation permettent d'évaluer si un échantillon est susceptible de générer un lixiviat acide ou de neutraliser l'acidité générée lors de l'oxydation des sulfures (Benzaazoua *et al.*, 2004). Selon les diagrammes présentés aux figures 4-23 A à K, un échantillon dont les concentrations se projettent au-dessus de la droite d'oxydo-neutralisation possède une capacité de neutraliser ou de générer un lixiviat circum-neutre. À l'inverse, un échantillon se projetant au-dessous de la droite d'oxydo-neutralisation sera potentiellement générateur d'un lixiviat acide.

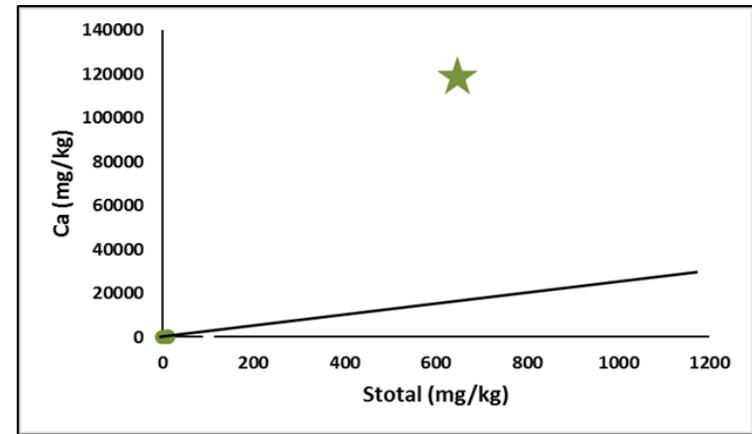
Les résultats présentés aux figures 4-23 A à K viennent appuyer les interprétations proposées à partir des calculs d'épuisement. Les échantillons de stériles associés aux basaltes andésitiques (unité 1) ainsi que ceux d'intrusions dacitiques (unité 4A) et d'andésite alcaline (unité 4B) sont considérés comme à potentiel très faible à incertain de génération acide. Les échantillons de dacites des unités 4A et 5A ainsi que les échantillons d'andésites alcalines de l'unité 5B possèdent un potentiel acidogène possible.

4.3.2 Les essais d'extraction séquentielle

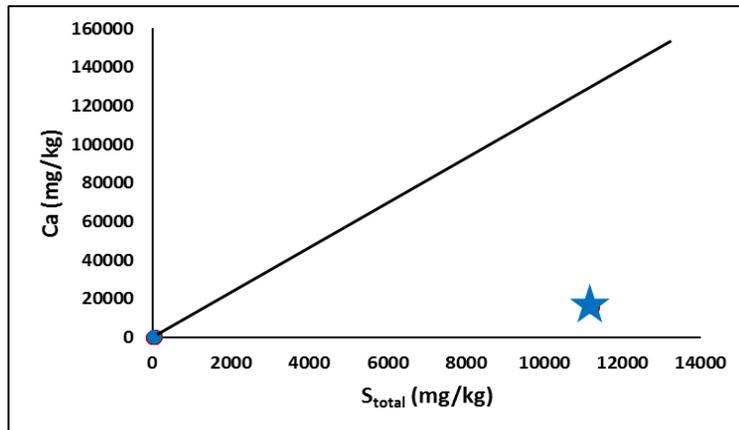
Les résultats des analyses de lixiviat des essais en mini cellules d'altération ont mis en évidence à partir du 36^{ème} jour d'une lixiviation faible, mais progressive du manganèse pour les échantillons de basaltes andésites AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV-070. Pour les échantillons de dacites de l'unité 5A (AKA14 ENV-035) et de l'unité 5B (AKA14 ENV-053), la lixiviation de manganèse survient vers la fin des essais. Pour les échantillons de basaltes andésitiques et l'échantillon AKA14 ENV-053, la lixiviation du manganèse semble corrélérer avec celle du calcium suggérant que des carbonates pourraient correspondre au minéral hôte du manganèse.



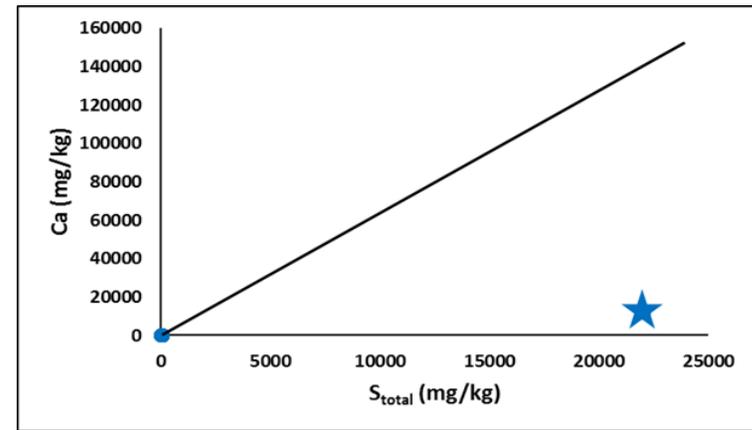
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021
Potentiel incertain à non-générateur de DMA



B) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-070
Potentiel non-générateur de DMA

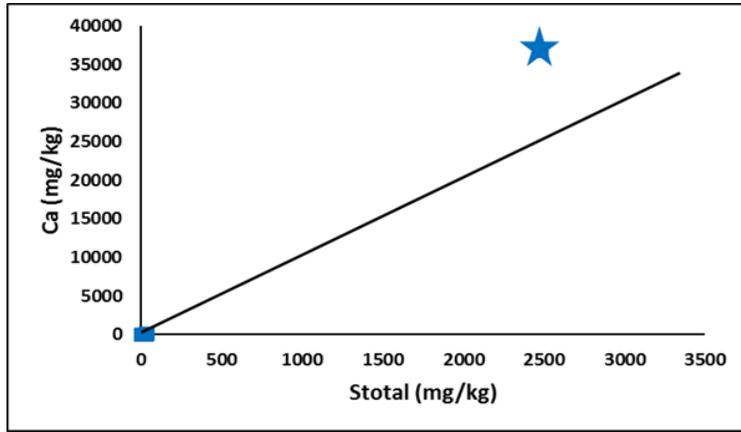


C) Tufs dacitiques (unité 4A) – AKA14 ENV-064
Potentiel de génération de DMA

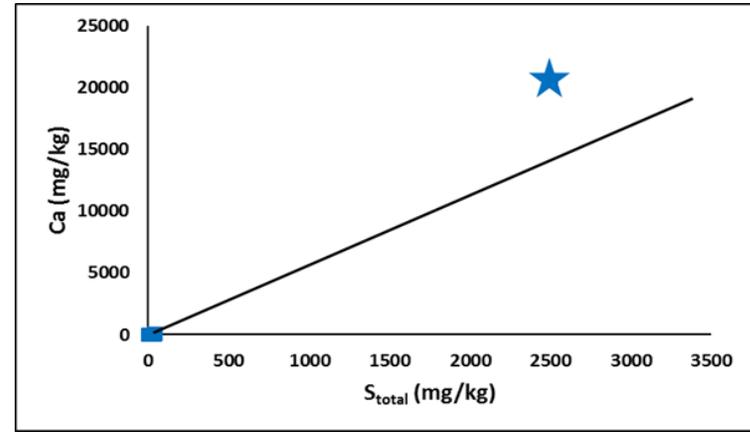


D) Dacites (unité 4A) – AKA14 ENV-004
Potentiel de génération de DMA

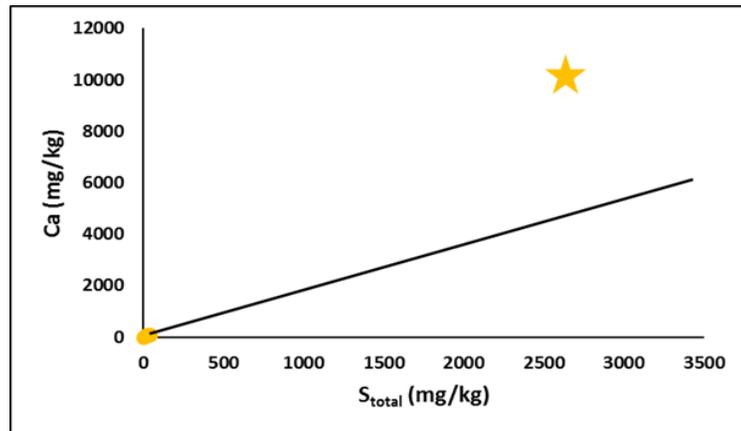
Figure 4-23 : Droites d'oxydo-neutralisation (échantillons en mini cellules d'altération). ● Projection de la droite Ca vs S_{total} des lixiviats; Droite : extrapolation des concentrations en Ca et S_{total} des lixiviats, ★ concentration initiales en Ca et S_{total} de l'échantillon.



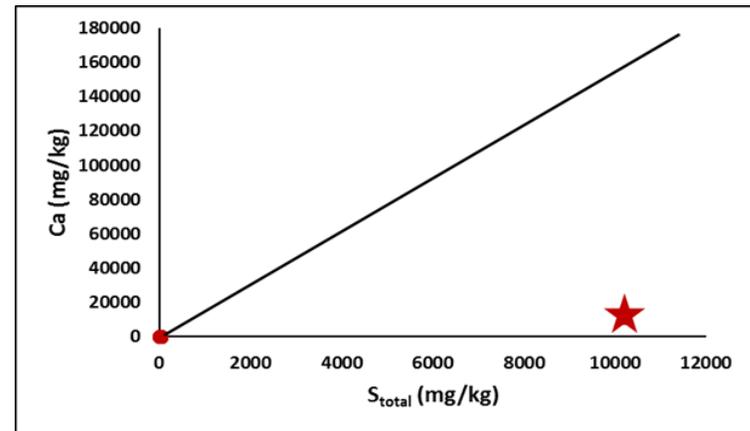
E) Intrusion porphyrique QFP – AKA14 ENV-085
 Potentiel non-générateur de DMA



F) Intrusion dacitique (unité 4A) – AKA14 ENV-033
 Potentiel non-générateur de DMA

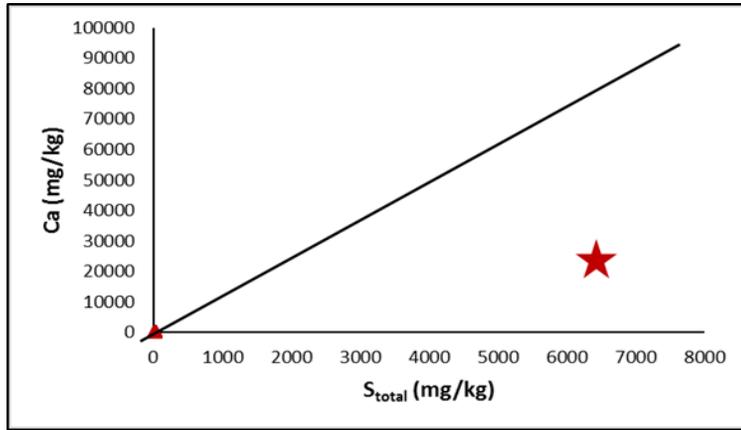


G) Andésites alcalines (unité 4B) – AKA14 ENV-067
 Potentiel non-générateur de DMA

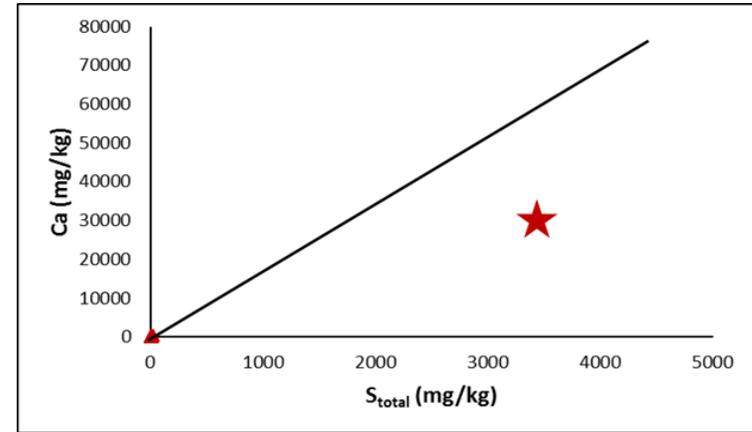


H) Dacites minéralisées (unité 5A) – AKA14 ENV-035
 Potentiel de génération de DMA

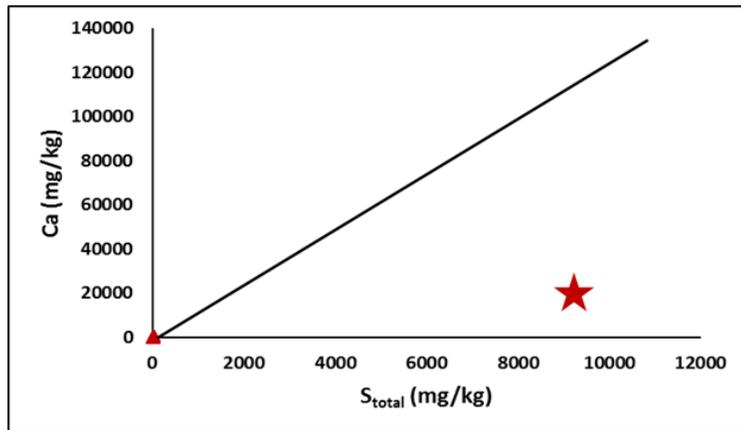
Figure 4-23 : (suite)



I) Andésites alcalines (unité 5B) – AKA14 ENV-051
Potentiel de génération de DMA



J) Andésites alcalines (unité 5B) – AKA14 ENV-053
Potentiel de génération de DMA



K) Andésites alcalines (unité 5B) – AKA14 ENV-075
Potentiel de génération de DMA

Figure 4-23 : (suite)

Afin de vérifier l'hypothèse de la source du manganèse et de guider d'éventuels travaux de minéralogie détaillée, des essais d'extraction séquentielle en laboratoire ont été réalisés sur les quatre échantillons mentionnés ci-haut. Les résultats obtenus des essais d'extraction séquentielle pour les basaltes andésitiques (Annexe I) indiquent que le S_{total} , le magnésium et de faibles quantités de potassium sont initialement lessivés de l'échantillon lors de la première étape pour identifier les métaux extractibles (Figure 4-24). La seconde étape destinée à vérifier lixiviation de métaux liés aux carbonates indique que le calcium et le manganèse sont libérés simultanément des deux échantillons à des concentrations respectives de 75 à 254 mg/L et de 0,6 à 2,5 mg/L. Comme le magnésium et le fer n'ont pas été lixiviés lors de cet essai, nous déduisons pour le moment que la phase carbonatée susceptible d'être présente dans nos échantillons correspond à de la calcite. La lixiviation du calcium et du manganèse des échantillons résiduels s'est poursuivie lors de la troisième étape qui a pour objectif d'identifier les métaux extractibles et associés aux minéraux de la classe des oxydes de fer et de manganèse.

Les concentrations mesurées se situent entre 38 et 188 mg/L pour le Ca et entre 0,9 à 2,2 mg/L pour le Mn. La figure 4-24 indique également que le S_{total} et le potassium ont également été lixiviés lors des essais 2 et 3 alors que le fer, le silicium et l'aluminium n'ont été mis en solution que lors de l'étape trois pour les oxydes et hydroxydes de fer et manganèse. Les résultats obtenus sur les échantillons de basaltes andésitiques suggèrent que le manganèse serait possiblement associé à un carbonate de variété calcite (étape 2), un minéral potassique (séricite et/ou orthose) ainsi que de minéraux de la classe des sulfures et/ou oxyde de fer et manganèse.

Pour les échantillons de dacites de l'unité 5A (AKA14 ENV-035) et d'andésite alcaline de l'unité 5B (AKA14 ENV-053), les métaux extraits à chaque étape sont similaires à ceux qui ont été lixiviés pour les basaltes andésitiques (Figure 4-25). La première étape destinée aux métaux extractibles a lixivié le S_{total} et le magnésium à des concentrations similaires à celles obtenues pour les lixiviats des échantillons de basaltes andésitiques. De très faibles quantités de potassium ($\leq 0,6$ mg/L) ont également été extraites des échantillons. La seconde étape pour la lixiviation associée aux carbonates indique que le calcium et le manganèse sont lixiviés des échantillons résiduels à des concentrations variant respectivement entre 158 et 328 mg/L ainsi qu'entre 0,71 et 1,26 mg/L.

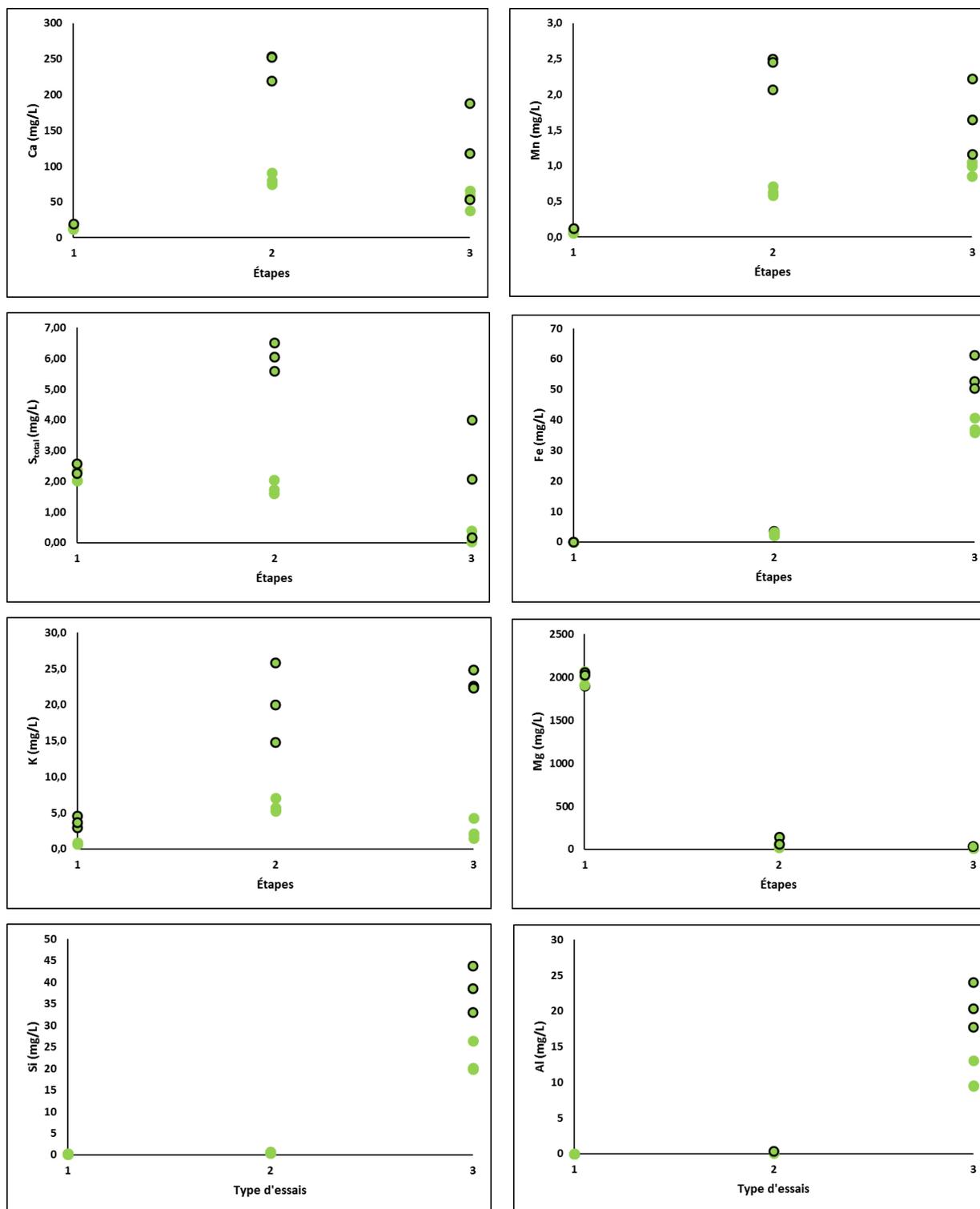


Figure 4-24 : Résultats des essais d'extraction séquentielle. Basaltes andésitiques

Échantillon AKA14 ENV-021 (●); Échantillons AKA14 ENV-070 (●)

Étape #1 (métaux extractibles), Étape #2 (Carbonates) et Étape #3 (Oxydes, hydroxydes Fe-Mn)

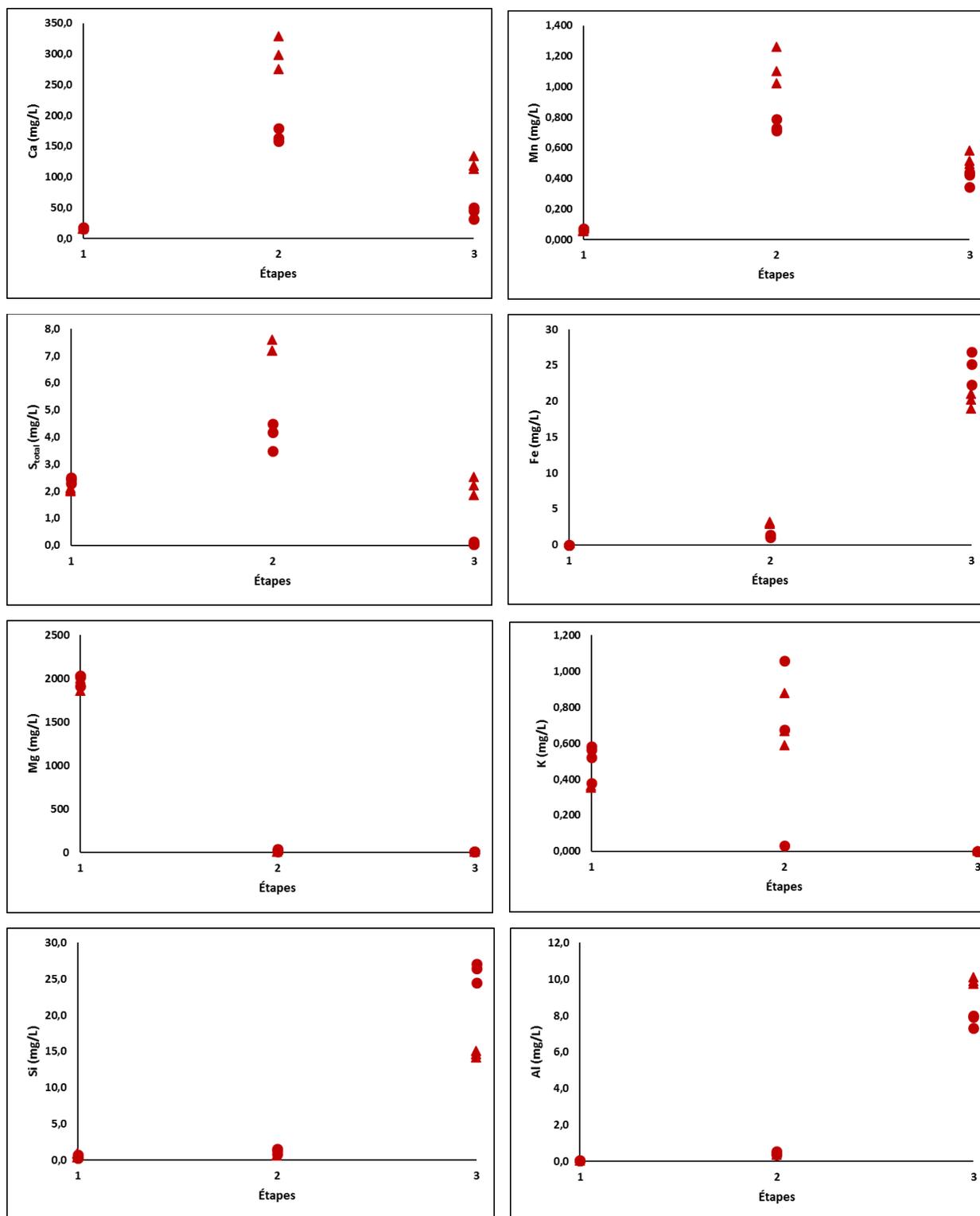


Figure 4-25 : Résultats des essais d'extraction séquentielle. Dacite (unité 5A)

AKA14 ENV-035 (▲); andésite alcaline (unité 5B) Échantillons AKA14 ENV-053 (●).

Étape #1 (métaux extractibles), Étape #2 (Carbonates) et Étape #3 (Oxydes, hydroxydes Fe-Mn)

De plus, le soufre et le potassium sont lixiviés à des concentrations qui peuvent atteindre le double de celles obtenues dans l'étape précédente. On observe une atténuation des concentrations lixiviées pour le calcium, le manganèse, le soufre et le potassium lors de l'étape d'extraction pour les métaux associés aux phases d'oxydes et hydroxydes de fer et de manganèse. Pour cette même étape, on note cependant que le fer, le silicium et l'aluminium sont les nouveaux métaux présents dans les lixiviats. Les résultats des essais d'extraction séquentielle pour les échantillons de dacite et d'andésite alcaline des unités 5A et 5B suggèrent que le manganèse pourrait être associé à une ou plusieurs phases minérales appartenant aux classes des carbonates, des sulfures et/ou des oxydes de fer manganèse.

4.3.3 Caractérisation par minéralogie quantitative

Les objectifs des travaux de minéralogie quantitative sont a) de confirmer l'identification et la composition chimique des phases minérales présentes dans les échantillons, b) d'identifier les phases hôtes des métaux potentiellement délétères qui ont été mis en évidence dans les lixiviats des essais cinétiques et c) d'obtenir une meilleure compréhension des différents processus qui exercent un contrôle sur la lixiviation et/ou la rétention des métaux délétères. Ces travaux nécessitent l'utilisation d'une ou de plusieurs techniques d'analyse, dont le microscope électronique à balayage (MEB), la microsonde électronique et l'ICP-MS avec ablation laser.

4.3.3.1 Composition minéralogique des échantillons

Les travaux d'identification minéralogique au MEB ont été réalisés sur cinq sections polies qui ont été principalement sélectionnées pour l'étude et l'identification des minéraux potentiellement sources des lixiviations de manganèse et de cuivre. Ces échantillons correspondent à ceux de basaltes andésitiques (unité 1) AKA14 ENV-021 et 070, à l'échantillon AKA14 ENV-067 d'andésite alcaline (unité 4B), à l'échantillon AKA14 ENV-035 de dacite type #2 minéral (unité 5A) et à l'échantillon AKA14 ENV 053 d'andésite alcaline type #2 (unité 5B).

Les principaux minéraux identifiés de la classe des tectosilicates sont le quartz et l'albite (Ab_{85-100}) présents dans tous les échantillons analysés ainsi que l'orthose qui a été identifié dans les deux échantillons de basaltes andésitiques (Annexe J). La principale phase identifiée de la classe des inosilicates correspond à l'amphibole calcique et ferromagnésienne de variété actinote dans les échantillons de basaltes andésitiques alors que celle de la classe des sorosilicates est l'épidote. Ce

sorosilicate a été identifié dans les cinq échantillons. Les teneurs en Al ainsi qu'en Fe suggèrent que sa composition se situe entre celles de la variété zoisite-clinozoisite qui est enrichie en Fe et appauvrie en Al et celle de la variété épidote qui est riche en Al et pauvre en Fe. Le seul minéral de la classe de nésosilicate identifié dans la plupart des échantillons correspond à la titanite. Trois variétés de minéraux de la classe des phyllosilicates ont été identifiés et mesurés au MEB. Il s'agit de la séricite (muscovite), de la biotite et de phyllosilicates du groupe des chlorites appartenant à une variété de chlorite ferromagnésienne, soit le clinoclore ainsi qu'à une variété plus riche en fer, soit la chamosite. La biotite n'a été identifiée que dans l'échantillon AKA14 ENV 021 de basalte andésitique.

Les études microscopiques et les calculs de minéraux normatifs indiquent que les carbonates sont omniprésents dans les échantillons de toutes les unités. Les analyses réalisées au MEB indiquent que le carbonate de calcium de variété calcite constitue la seule variété de carbonates reconnue dans les lithologies du gisement Akasaba Ouest. Les résultats d'analyses indiquent que ces calcites contiennent en moyenne que très peu de fer ($\leq 0,48\%$) et de magnésium ($\leq 0,15\%$). De plus, les concentrations moyennes mesurées en Ca (24,00 % à 38,93 %), C (15,09 % à 22,57 %) et O (41,42 % à 57,53 %) ne sont pas typiques de la composition stoechiométrique de la calcite dont les concentrations sont respectivement de 39,92 % de 12,00 % et de 48,08 % (Deer, Howie et Zussman, 1992). Ces variations seraient associées à une contamination en C provenant d'un produit utilisé pour métalliser les sections polies avant de les analyser au MEB. Les résultats présentés à l'annexe J indiquent également que la plupart des calcites des échantillons de basaltes andésitiques (AKA14 ENV-021 et 070) contiennent entre 0,03% et 0,45% de Mn. Quelques points mesurés sur des calcites de l'échantillon d'andésite alcaline (unité 4B) indiquent également que ce minéral contient du Mn en très faible concentration allant de 200 à 700 ppm (0,02 % à 0,07 %) alors qu'un seul point de mesure sur une calcite de l'échantillon AKA14 ENV-053 (unité 5B) a donné 0,44 % Mn. La présence de manganèse associé aux carbonates confirme les résultats que nous avons obtenus lors des essais d'extraction séquentielle pour les métaux liés aux carbonates dans les échantillons de basaltes andésitiques. Un seul minéral de la classe des phosphates, soit l'apatite, a été analysé dans l'échantillon d'andésite alcaline de l'unité 4B (AKA14 ENV-067).

Les principaux minéraux de la classe des sulfures qui sont omniprésents et analysés dans les échantillons du gisement Akasaba Ouest sont la pyrite et la chalcopyrite. Les résultats d'analyses suggèrent que les compositions moyennes des pyrites associées au minerai (AKA14 ENV-035) de

l'unité 5A ainsi que celles de l'unité 4B (AKA14 ENV-067) de roches stériles spatialement associées au minerai sont plus riches en Fe (47,65% à 48,59%) et plus appauvries en soufre (51,41% à 52,35%) que celles des unités 1 et 5B de stériles (Annexe J). Ces variations de compositions chimiques en fer ainsi qu'en soufre sont également reconnues pour les chalcopyrites des mêmes unités. De plus, certaines chalcopyrites des unités 4B et 5A seraient également enrichies en cuivre en plus d'être accompagnées d'une altération partielle à totale composée d'un sulfure très riche en cuivre (70,23% à 75,53%) correspondant à de la digénite. Le rutile (AKA14 ENV 053) et la wustite (AKA14 ENV-070) sont les deux minéraux de la classe des oxydes.

4.3.3.2. Les minéraux sources de métaux lixiviés

Les résultats obtenus des essais cinétiques en colonnes ainsi qu'en mini cellules d'altération, de même que les résultats des essais d'extraction séquentielle suggèrent que plusieurs types de phases minérales pourraient être hôtes du manganèse lixivié des échantillons du projet Akasaba Ouest. De plus, un échantillon de tufs de composition andésite alcaline (unité 4B) minéralisée a présenté, à un stade tardif des essais cinétiques en mini cellules d'altération, une lixiviation de cuivre dont les teneurs excèdent les critères des RESIE (Beaulieu, 2016). Comme ces deux types de métaux sont susceptibles de se retrouver dans les eaux de drainage minier, il devient essentiel à ce stade du protocole de caractérisation géoenvironnemental d'identifier les minéraux hôtes de ces métaux potentiellement délétères.

Les résultats des essais d'extraction séquentielle pour les basaltes andésitiques suggèrent que les minéraux potentiellement hôtes du manganèse lixivié seraient les carbonates, un minéral de potassium (séricite et/ou orthose), un minéral de type sulfure (pyrite et/ou chalcopyrite) et/ou un minéral de la classe des oxydes de fer et/ou manganèse. Les analyses chimiques réalisées sur les phases minérales suggèrent que la calcite serait le minéral hôte du manganèse pour les basaltes andésitiques (unité 1) et possiblement pour les andésites alcalines de l'unité 4B (Annexe J). La chlorite pourrait également représenter un second candidat pour les basaltes andésitiques. Cependant, cet argument n'est appuyé que par une seule analyse au MEB qui a retourné 0,60 % Mn.

Deux sections polies des échantillons soumis aux essais d'extraction séquentielle AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV 070 ont été analysées au MEB pour déterminer les compositions chimiques de certains minéraux. Les résultats obtenus confirment la présence d'orthose, de pyrite et de

chalcopyrite dans les deux échantillons de basaltes andésitiques (Annexe J). De plus, un oxyde de fer correspondant à de la wustite (FeO) a été identifié dans l'échantillon AKA14 ENV 070. Toutes ces phases ont également été analysées au MEB pour connaître leurs compositions en manganèse et aucune teneur significative n'a été identifiée dans les deux échantillons.

4.4 Phase de faisabilité : Les domaines géoenvironnementaux et la modélisation 3D

La dernière étape du protocole de caractérisation géoenvironnemental est recommandée lorsque le projet atteint le stade de l'étude de faisabilité. Cette étape consiste dans un premier temps à synthétiser l'ensemble des paramètres géologiques, minéralogiques, géochimiques et environnementaux recueillis pour chacune des lithologies aux différentes phases du projet minier. Des corrélations et des regroupements sont par la suite réalisés entre ces paramètres pour générer des domaines géoenvironnementaux. Ces domaines sont inclus dans un modèle géoenvironnemental 3D représenté dans l'espace et qui pourra être jumelé au modèle géologique du gisement (Figure 4-26).

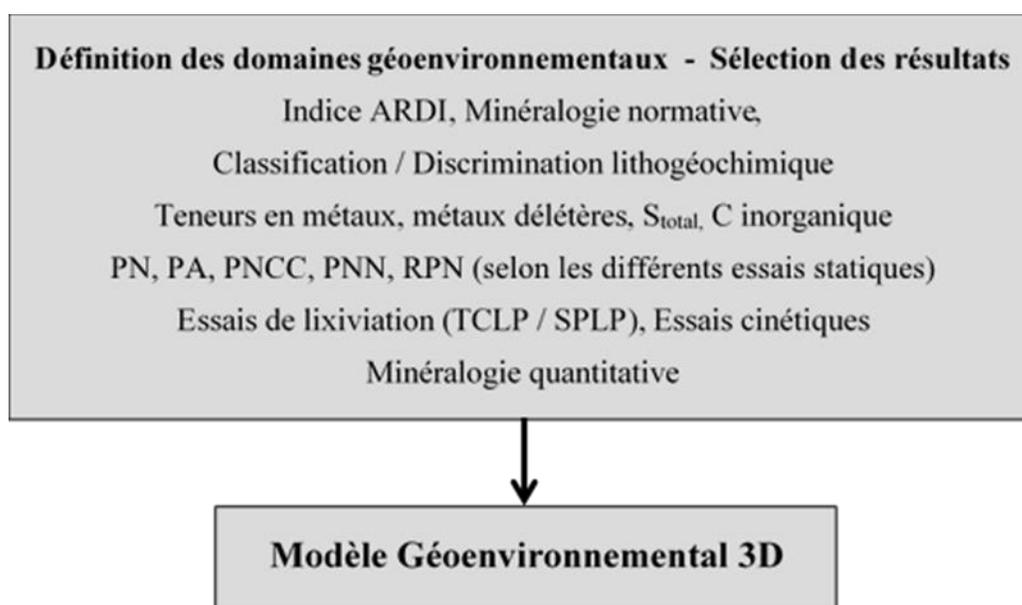


Figure 4-26 : Protocole de caractérisation géoenvironnementale – phase faisabilité

4.4.1 Synthèse des paramètres et définition du domaine géoenvironnemental

La définition et représentation spatiale d'un domaine géoenvironnemental s'appuie sur les récentes approches utilisées en géométallurgie. Les travaux de Brough *et al.* (2013) et de Parbhakar-Fox *et al.* (2013) suggèrent que les résultats d'analyses minéralogiques ainsi que ceux d'essais statiques et cinétiques réalisés en laboratoire peuvent être utilisés pour prédire les possibilités de risques de drainage minier acide et/ou de lixiviation en métaux lourds de différentes unités lithologiques hôtes de gisements. Bye (2011) et Baumgartner (2012) mentionnent que l'ensemble des données et des interprétations géologiques, minéralogiques, géochimiques et métallurgiques peuvent conduire à la conception d'un modèle prédictif 3D. Les approches considérées par ces auteurs ont été utilisées pour mener à la caractérisation de domaines géoenvironnementaux. Les paramètres géologiques et environnementaux qui ont été pris en considération sont les suivants:

- a) Les descriptions pétrographiques basées sur les observations macroscopiques et microscopiques des lithologies encaissantes du gisement. Ces descriptions incluent les différents types faciès volcaniques et/ou sédimentaires, les structures géologiques (schistosité, veines, failles), les assemblages minéralogiques primaire et secondaire issus du métamorphisme ou des processus hydrothermaux;
- b) Les signatures lithogéochimiques des lithologies encaissantes et leurs contenus en métaux;
- c) Les paragenèses métallifères incluant les compositions et proportions de minéraux économiques et subéconomiques et de la gangue, la morphologie et la dimension des grains ainsi que les différentes typologies du minerai.

Les paramètres environnementaux considérés pour caractériser un domaine géoenvironnemental sont également de natures géochimiques et minéralogiques. Ces paramètres, qui sont similaires à ceux utilisés dans des études de prédiction de la qualité du drainage minier (Weisener et Weber, 2010; Parbhakar-Fox *et al.*, 2011; Parbhakar-Fox *et al.*, 2013, et Brough *et al.*, 2013), incluent :

- a) Les résultats des essais de lixiviation en *batch* (TCLP, SPLP et CTEU-9);
- b) Les concentrations en métaux et particulièrement les métaux considérés délétères, en carbone inorganique, en S_{total} , S_{sulfure} et S_{sulphate} , les résultats des calculs de potentiel de neutralisation (PN) et d'acidification (PA), du potentiel net de neutralisation (PNN) et du rapport du potentiel de neutralisation (RPN);

- c) Les évaluations du potentiel de génération de drainage minier acide et du type de résidus miniers selon les critères des réglementations gouvernementales;
- d) Les observations microscopiques, les résultats d'analyses minéralogiques par diffraction des rayons X ainsi que celles obtenues avec le microscope électronique à balayage (MEB) couplées à la microanalyse avec un spectromètre à énergie dispersive (EDS);
- e) Des résultats de PA, PN, PNN et RPN obtenus avec des essais statiques chimiques et des calculs d'essais statiques minéralogiques;
- f) Des résultats des essais cinétiques et plus particulièrement l'évolution de la composition chimique et des paramètres physico-chimiques (Eh, pH, acidité, alcalinité, conductivité, etc...) des lixiviats;
- g) L'évaluation du potentiel de génération d'un drainage minier acide ainsi que les taux d'épuisement des minéraux potentiellement acidifiant et neutralisant sur la base des résultats des essais cinétiques et de la granulométrie des échantillons.

Les subdivisions entre les différents domaines géoenvironnementaux sont principalement basées sur le type de réponse et de risque qui sera potentiellement généré lorsque les lithologies qui les composent seront exposées aux processus d'altération météorique à la suite de leur extraction et de leur entreposage dans les haldes à stériles. Il faut également prendre en considération que les limites d'un domaine géoenvironnemental peuvent différer de celles associées aux limites ou contacts entre les différentes unités lithologiques ou d'unités lithologiques possédant des propriétés métallogéniques semblables (Bye, 2011). Le risque environnemental de chacun des domaines géoenvironnementaux nouvellement créés est par la suite évalué selon deux critères, soit a) sur la probabilité de lixiviation des différents types de métaux et b) sur les propriétés physico-chimiques des eaux drainages miniers. Pour ce dernier critère, les eaux ont été classées comme potentiellement acides, circum-neutres (avec ou sans contamination en métaux) ou alcalines à partir des résultats des essais en mini-cellules d'altération.

La prochaine section présente les corrélations entre les différents paramètres et les principaux critères qui sont propres à chacun des domaines géoenvironnementaux proposés pour le gisement Akasaba Ouest.

4.4.2 Les domaines géoenvironnementaux du gisement Akasaba ouest

La synthèse et les corrélations entre les différents paramètres mentionnés à la section précédente amènent à proposer trois principaux domaines géoenvironnementaux pour le gisement Akasaba Ouest. Ces domaines seront respectivement nommés : a) domaine mafique, b) domaine intermédiaire et c) domaine dacitique (Tableau 4.15). Les domaines mafiques et intermédiaires sont respectivement composés des lithologies qui seront majoritairement entreposées dans les haldes à stériles alors que le domaine dacitique comprend généralement les lithologies associées au minerai.

4.4.2.1. Domaine géoenvironnemental mafique

Le domaine géoenvironnemental mafique est localisé dans la partie nord de la fosse et se subdivise en deux sous-domaines soit : a) le sous-domaine basaltique et b) le sous-domaine andésitique.

Sous-domaine basaltique

Le sous-domaine basaltique comprend les basaltes andésitiques (unité 1) et les basaltes ferro titanifères (unité 2). Les deux unités sont caractérisées par des laves massives, bréchiques ainsi que fracturées (Tableau 4.15). Ces laves sont principalement composées d'amphibole (variété actinolite et/ou trémolite), de plagioclase (variété albite) et d'épidote. Ces trois phases minérales sont couplées à la calcite, l'orthose et la magnétite (observée visuellement) pour constituer le premier faciès minéralogique d'altération hydrothermale. Le second faciès comprend toujours l'amphibole, l'albite, l'orthose et une proportion moindre d'épidote auxquels s'ajoute la chlorite. Ce second faciès est marqué par la disparition de la calcite normative. Les autres phases minérales présentent en moindres proportions dans ces volcanites sont le quartz, la biotite, la titanite (sphène), l'hématite et la wustite. Les basaltes andésitiques et ferro titanifères contiennent généralement moins de 1% de pyrite et/ou de chalcopryrite qui se présentent sous formes disséminées à massif ainsi qu'en remplissage de fractures présentent dans la roche. Les grains de sulfures sont xénomorphes à subautomorphes et dont la dimension varie de 10 µm à 1 mm.

Les basaltes andésitiques et ferro titanifères sont d'affinité tholéiitique et sont caractérisés par des rapports Ti/Zr de 85 à 183 et des rapports Al₂O₃/TiO₂ de 14 à 24 (unité 1) et de 5,4 à 6,2 (unité 2).

Tableau 4.15 : Caractéristiques des différents domaines géoenvironnementaux – Akasaba Ouest

1. Stade exploration			
Paramètres	Domaine Mafique		Domaine Intermédiaire
	Sous-domaine basaltique	Sous-domaine andésitique	
Lithologies	Basalte andésitiques (unité 1) Basaltes ferro titanifères (unité 2)	Andésite (unité 3)	Andésites alcalines (unité 5B)
Nombre échantillons	22 (unité 1) et 6 (unité 2)	24	63
Structures	Massive, fracturé et bréchique	Massive, fracturé et bréchique	Massive à schisteuse; rubanée
Minéraux primaire	Actinolite, albite, titanite, rutile	Actinolite, albite	Quartz, albite, rutile
Minéraux secondaire	Quartz, épidote, orthose, chlorite, biotite, calcite, magnétite et wurstite	Quartz, chlorite, épidote, orthose, calcite, magnétite	Chlorite, épidote, orthose, calcite, séricite et paragonite
Faciès d'altération Minéraux normatifs Faciès d'altération	1) Amphibole - épidote - albite - calcite - orthose - magnétite 2) Amphibole - épidote - albite - orthose - chlorite	1) Quartz - épidote - chlorite - orthose ± calcite, magnétite 2) Orthose - épidote - chlorite ± quartz, calcite, sulfures	1) Albite - quartz - séricite - chlorite ± paragonite - calcite - orthose 2) Quartz - albite - séricite - chlorite ± calcite - sulfures
Ti/Zr	85 - 183	19 à 47	12 à 35
Al₂O₃/TiO₂	14 à 24 (unité 1); 5,4 à 6,2 (unité 2)	34 à 45	38 à 96
Métaux à risque	Cu, Mn, Co, Cr, Ni, Mo	Cu, Ba, Mo	Cu, Ba, Mo
Sulfures Morphologie Dimension Typologie	Pyrite ≤ 1% ; chalcopyrite ≤ 1% Xénomorphe à subautomorphe 10 µm à 1 mm Disséminée, veinules, massive	Traces à 3% pyrite et chalcopyrite Sub-automorphe à automorphe 5 µm à 1 mm Disséminée	Traces à 5% pyrite, chalcopyrite, Po Xénomorphe à automorphe 2 µm à 2 mm Disséminée et amas dans la schistosité

Tableau 4.15 (suite)

2. Stade mise en valeur			
Paramètres	Domaine Mafique		Domaine Intermédiaire
	Sous-domaine basaltique	Sous-domaine andésitique	
Nombre d'échantillons	13 (unité 1) ; 4 (unité 2)	14	33
TCLP/SPLP	Cu \geq RESIE (unité 1) Cu < RESIE (unité 2)	Cu \geq RESIE	Cu \geq RESIE
S_{total} (four à induction)	$\leq 0,3\%$ (90% de l'unité 1) $\leq 0,3\%$ (50% de l'unité 2)	$\leq 0,3\%$ (79% des échantillons)	$\leq 0,3\%$ (64% des échantillons)
C_{total} (four à induction)	0,06% à 0,73%	0,05% à 0,63%	0,05% à 0,91%
Risque de DMA (PNN_{Carb} et RPN_{Carb})	DMA incertain à possible (unité 1) DMA possible (50% de l'unité 2)	DMA incertain à possible	DMA très faible à possible
Type résidus miniers (*)	Faible risque, Cu et Mn lixiviable	Faible risque, Cu et Mn lixiviable	36% des échantillons analysés sont acidogènes; Autres échantillons lixiviables pour Cu, Mn \pm Zn seulement.
Acisol (**)	DMA très faible à possible (unité 1)	n.d.	DMA incertain à possible
PN_{Lawrence et Scheske}	2,9 à 206,9 kg CaCO ₃ /t (unité 1) 2,9 à 58,9 kg CaCO ₃ /t (unité 2)	4,2 à 39,1 kg CaCO ₃ /t	4,2 à 87,7 kg CaCO ₃ /t

(*) Selon la définition de la Directive 019.

(**) Générateur DMA certain si $S_{tot} \geq 0,3\%$ et $PNN \leq -20$ et/ou $RPN \leq 1$; nul si $S_{tot} < 0,3\%$ et $PNN > 20$ et/ou $RPN > 3$. n.d. : non déterminé

Tableau 4.15 (suite)

3. Stade de pré faisabilité			
Paramètres	Domaine Mafique		Domaine Intermédiaire
	Sous-domaine basaltique	Sous-domaine andésitique	
Nombre d'échantillons	2	0	3
pH et Eh	7,5 à 8,0 et 550 à 650 mV	n.d.	7,5 à 8,0 (pH); 500 à 600 mV
Alcalinité	40 à 60 mg/L CaCO ₃	n.d.	30 à 40 mg/L CaCO ₃
Conductivité	75 à 137 µS/cm		75 à 100 µS/cm
Oxydo-neutralisation	Potentiel très faible à incertain de génération de DMA	n.d.	Potentiel possible de génération de DMA
Taux d'épuisement	137 ans (calcium) 27 à 91 ans (soufre total)	n.d.	27 à 34 ans (calcium) 55 à 91 ans (soufre total)
Métaux lixiviés	Ca, Mn (600 à 1370 ppb)	n.d.	Ca, Mn
Chimie minérale	Calcite (Mn ≤ 0,45%)		Calcite (± Mn)

Tableau 4-15 (suite)

1. Stade exploration		
Domaine	Dacitique	
Sous-domaine	Dacite minerai	Andésites alcalines minerai
	Dacites, tufs dacitiques (unité 4A, 5a) Intrusions dacitiques, QFP (unité 4A, 5A)	Andésite alcalines (unité 4B)
Nombre d'échantillons	104 (unité 4A); 48 (unité 5A)	15
Structures	Massive à fracturée, forte schistosité	Schistosité faible à modérée
Minéralogie principale	Albite, quartz ± amphibole	Albite et quartz
Minéralogie secondaire	Orthose, séricite, chlorite, épidote, ± calcite, magnétite, titanite, rutile	Séricite, chlorite, épidote, orthose, apatite, titanite, calcite
Faciès d'altération (normatif et box plot)	1) Albite – quartz – chlorite – orthose – séricite ± épidote - calcite 2) Quartz – orthose – albite – séricite - chlorite ± magnétite, sulfures (chalcoppyrite).	1) Albite - quartz – chlorite – épidote ± séricite, calcite 2) Albite, quartz, séricite, chlorite ± pyrite et chalcoppyrite.
Ti/Zr	18 à 46 (unité 4A); 16 à 31 (unité 5A)	30 à 39
Al₂O₃/TiO₂	18 à 48 (unité 4A); 41 à 69 (unité 5A)	27 à 34
Métaux à risque	Cu, Ba, Mo, Cr	Cu, Ba, Mo
Types de sulfures	≤ 5% pyrite, chalcoppyrite (digénite), pyrrhotine	≤ 2 % pyrite et ≤ 1 % chalcoppyrite (digénite)
Morphologie	Xénomorphe à automorphe	Xénomorphe à automorphe
Dimension	10 µm à 2 mm (parfois 5 mm)	5 µm à 600 µm
Typologie	Disséminée, amas, remplissage de fractures	Disséminée et minces filons dans la schistosité

Tableau 4-15 (suite)

2. Stade mise en valeur		
Domaine	Dacitique	
Sous-domaine	Dacite minéral	Andésites alcalines minéral
Nombre d'échantillons	49 (unité 4A); 24 (unité 5A)	9
TCLP/SPLP	Cu \geq RESIE (unité 4A) Cu \geq RESIE (unité 5A)	Cu \geq RESIE
S_{total}	$\leq 0,3\%$ (65% échantillons unités 4A et 5A)	$\leq 0,3\%$ (67% échantillons)
C_{total}	0,01 à 0,94%	$\leq 0,01$ à 0,69%
(PNN_{Carb} et RPN_{Carb})	Potentiel très faible à possible de génération de DMA	Potentiel très faible à possible de génération de DMA
Type de résidus miniers	Faible risque, mais lixiviables pour le Cu \pm Mn, Pb et Zn et 30% des échantillons analysés sont acidogènes.	33% des échantillons analysés sont acidogènes. Autres échantillons faibles risques, lixiviables Cu \pm Mn
Acisol	DMA incertain à possible	DMA incertain
PN_{Lawrence et Scheske}	1,8 à 72 kg CaCO ₃ /t	4,1 à 35,2 kg CaCO ₃ /t

Tableau 4-15 (suite)

3. Stade de pré faisabilité		
Domaine	Dacitique	
Sous-domaine	Dacite minéral	Andésites alcalines minéral
Nombre d'échantillons	5	1
pH et Eh	7,0 à 8,0; 600 à 650 mV	7,0 à 7,5 et 600 mV
Alcalinité	≤ 40 mg/L CaCO ₃	≤ 10 mg/L CaCO ₃
Conductivité	≤ 25 μ S/cm (stérile); 50-75 μ S/cm minéral	≤ 25 μ S/cm
Oxydo-neutralisation	1) Dacites et tufs dacitiques potentiel possible de génération de DMA 2) Intrusions et QFP potentiel très faible de génération de DMA	Potentiel très faible de génération de DMA
Taux d'épuisement	1) 14 à 34 ans (calcium) Dacites et tufs 55 à 274 ans (S _{tot}) Dacites et tufs 2) 91 à 456 ans (calcium) Intrusions et QFP 39 à 45 ans (S _{tot}) Intrusions et QFP	39 an (calcium) 34 an (S _{tot})
Métaux lixiviés	Mn (très faible lixiviation)	Cu > RESIE Mn (très faible); Co (colonne)
Chimie minérale	Pyrite \nearrow Fe \searrow S Chalcopyrite \nearrow Fe et Cu, \searrow S, digénite	Calcite (Mn 200 à 700 ppm) Pyrite \nearrow Fe \searrow S Chalcopyrite \nearrow Fe et Cu, \searrow S, digénite

Le cuivre, le manganèse et le cobalt constituent les métaux qui sont communs aux deux unités et dont les teneurs pourraient les classer à risque (Annexe B) selon le critère générique A et la définition présentée à l'Annexe II de la Directive 019. Les teneurs en manganèse pour lesquels des échantillons ont été analysés sont généralement supérieures à 1000 ppm. Les teneurs en chrome, molybdène et nickel des échantillons de basaltes andésitiques pourraient également amener à classer à risque les matériaux de cette lithologie (Annexe B). Bien que les teneurs en or ne sont pas présentées dans les différents tableaux, la classification métallogénique indique que la plupart des échantillons de la série AKA14-ENV feront partie des stériles miniers.

Les paramètres de caractérisation environnementale provenant des essais statiques et cinétiques doivent également être pris en compte pour la définition d'un domaine géoenvironnemental. Selon les résultats des essais de lixiviation TCLP, plus de 50 % des échantillons de basaltes andésitiques ont lixivié du cuivre à des teneurs supérieures au critère Cu du RESIE (Golder, 2015) et nous amènent à classer une partie des résidus de l'unité 1 comme étant lixiviable pour le cuivre. Les résultats des essais TCLP sur des échantillons de basaltes ferro titanifères sont demeurées en deçà du critère RESIE pour le Cu, Co, Cr, Ni et Mo (Tableau 4.7) suggérant que les résidus miniers de l'unité 2 sont classés à faible risque pour chacun de ces métaux. Pour le moment, seul le manganèse ne possède aucun critère RESIE. Les résultats des analyses en S_{tot} sont inférieurs à 0,3 % pour 92 % des échantillons de basaltes andésitiques et 50 % (2 échantillons) de basaltes ferro titanifère alors que les concentrations en C_{total} varient de 0,06 % à 0,73 % pour les échantillons des deux unités. Les valeurs de PNN_{Carb} et de RPN_{Carb} ainsi que les résultats des essais Acisol indiquent que le potentiel de génération d'un drainage minier acide varie de très faible à incertain pour les basaltes andésitiques. Cependant, les valeurs de RPN_{Carb} de certains échantillons de basaltes ferro titanifères suggèrent la possibilité d'un potentiel de drainage minier acide. Aucun essai Acisol n'a été réalisé sur ces échantillons pour appuyer cette interprétation. Les calculs d'essais statiques minéralogiques selon la méthode de Lawrence et Scheske indiquent un PN variant entre 2,9 et 206,9 kg $CaCO_3/t$ (basaltes andésitiques) et de 2,9 à 58,9 kg $CaCO_3/t$ (basaltes ferro-titanifères).

Selon les résultats des essais cinétiques, les paramètres physico-chimiques des eaux de lixiviation issue de la percolation dans l'empilement de basaltes andésitiques seraient caractérisés par des pH neutres à légèrement alcalins. Les analyses des concentrations en métaux des lixiviats des essais en mini-cellules suggèrent que ceux-ci seraient caractérisés par une augmentation progressive des teneurs en calcium et en manganèse. Ces résultats sont en accord avec l'identification du

manganèse dont les teneurs dans les unités 1 et 2 sont supérieures au critère A de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés et la Directive 019. Les concentrations en Mn dans les lixiviats des essais en mini-cellules des deux échantillons de l'unité 1 sont inférieures à la concentration maximum analysée sur 17 semaines, soit de 0,124 mg/L (Annexe F). Les analyses de minéralogie détaillées effectuées au MEB indiquent que le carbonate de variété calcite est le minéral hôte du manganèse pour les échantillons de basaltes andésitiques. Les calcites analysées au MEB contiennent entre 0,17 % et 0,45 % de Mn.

Les droites d'oxydo-neutralisation tracées à partir des teneurs en calcium et en S_{total} des lixiviats des essais en mini cellules d'altération suggèrent que le potentiel de génération de drainage acide des basaltes andésitiques du sous-domaine basaltique varie de très faible à incertain. Cette interprétation est appuyée par un taux d'épuisement en calcium qui est de 5 fois plus lent que celui du S_{total} , une teneur en S_{total} de 0,17 % et des valeurs de RPN_{acisol} et RPN_{Carb} de 2,9 et 2,4 pour l'échantillon AKA14-ENV-070. Cependant, l'échantillon AKA14 ENV 021 présente un taux d'épuisement du S_{tot} qui n'est que de 1,5 fois plus rapide que celui du calcium suggérant un potentiel incertain de génération d'un drainage acide. Cette interprétation s'appuie également sur une teneur en S_{total} de 0,56 % des valeurs de RPN_{acisol} et RPN_{Carb} respectives de 1,0 et 1,8. Selon la Directive 019, cet échantillon serait considéré comme un stérile minier à potentiel acidogène incertain.

Sous-domaine andésitique

Le sous-domaine andésitique comprend les andésites de l'unité 3. Les minéraux normatifs primaires des andésites présentent plusieurs similarités avec ceux des basaltes andésitiques et ferro titanifères. Les minéraux omniprésents dans les andésites correspondent toujours aux amphiboles et plagioclases (albite). Les minéraux normatifs issus du métamorphisme et/ou de l'altération hydrothermale se subdivisent en deux faciès minéralogiques selon l'intensité de l'indice d'altération AI soit : a) un faciès peu altéré à quartz – épidote – chlorite – orthose \pm calcite et magnétite et b) un faciès d'altération potassique et calcique à orthose – épidote – chlorite \pm quartz – calcite et sulfures (Tableau 4.15). Du point de vue géochimique, ce type d'altération est caractérisé par des gains et pertes chimiques en K_2O , Na_2O et CaO . Les andésites contiendraient de traces à 3% de pyrite et de chalcopryrite disséminée de forme subautomorphe à automorphes et

dont la dimension des grains varie de 5 μm à 1 mm. Les principales phases d'oxydes seraient la magnétite et l'hématite normatives.

Les andésites sont d'affinité transitionnelle et possèdent des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ et Ti/Zr allant respectivement de 34 à 45 et de 19 à 47. Environ 50 % des échantillons sont caractérisés par des teneurs en baryum et en molybdène classées à risque selon la Directive 019. Leurs teneurs en cuivre sont généralement inférieures à 0,1 % et sont considérées non économiques alors qu'aucune teneur en or n'est reportée dans les analyses. Tous les échantillons de la série AKA14 ENV associés aux andésites sont classés comme stériles selon Mines Agnico Eagle Ltée.

Les échantillons d'andésite de l'unité 3 sont caractérisés par des teneurs en Cu, Mo et Ba qui sont supérieures au critère A (Annexe B). De plus, les résultats des essais de lixiviation TCLP indiquent que 36 % des échantillons de cette unité ont lixivié du cuivre à des teneurs supérieures au critère du RESIE suggérant qu'une partie des échantillons de l'unité 3 sont classés lixiviables pour le cuivre. Les résultats des essais TCLP sur des échantillons d'andésites sont demeurés en deçà du critère RESIE pour le Mo et le Ba (Tableau 4.7) suggérant que les stériles sont classés à faible risque pour chacun de ces métaux.

Les concentrations en S_{tot} sont inférieures à 0,3 % pour 79 % des échantillons, alors que celles en C_{tot} se situent entre 0,05 % et 0,63 %. Les valeurs de PNN_{Carb} obtenues sur 14 échantillons se situent entre -3,2 et 34,9 kg CaCO_3/t alors que 79 % des échantillons sont caractérisés par des valeurs de RPN_{Carb} comprises entre 1,3 et 8,1. Les valeurs de ces deux paramètres environnementaux suggèrent que les andésites possèdent un potentiel incertain à très faible de générer un drainage minier acide. Les valeurs du PN qui sont calculées sur la base de la composition minéralogique des échantillons indiquent qu'elles se situent entre 4,2 et 39,1 kg CaCO_3/t .

Il est impossible d'obtenir des informations sur les propriétés physico-chimiques ainsi que sur le ou les types de métaux susceptibles d'être lixiviés et incorporés dans les eaux de drainage minier puisqu'aucun essai en mini-cellule d'altération n'a été réalisé sur les échantillons de cette lithologie. En considérant pour le moment les nombreuses similarités géochimiques, minéralogiques ainsi que de certains paramètres environnementaux, il est proposé d'inclure les andésites dans le domaine mafique. Cependant, une des caractéristiques importantes des échantillons du sous-domaine basaltique concerne la lixiviation de manganèse des unités 1 et 2 lors des essais cinétiques. Il faut mentionner que les teneurs en MnO dans les échantillons des unités 1

et 2 sont comprises entre 0,04 % à 0,21 % et que ce manganèse serait principalement associé à la calcite. Comme les concentrations en MnO (0,1%) des andésites sont inférieures à 0,1 %, il est suggéré d'isoler les andésites en un sous domaine unique et différent de celui du sous-domaine basaltique, et ce jusqu'à la réalisation d'essais supplémentaires.

4.4.2.2 Le Domaine dacitique

Le domaine géoenvironnemental dacitique comprend l'ensemble des lithologies qui correspondent aux minerais du gisement Akasaba Ouest. Ce domaine sera subdivisé en deux sous domaines soit : a) le sous domaine dacitique minéral et b) le sous domaine andésites alcalines minéral (Tableau 4.15).

Sous domaine dacitique minéral

Les lithologies incluses dans le sous-domaine dacitique minéral comprennent les dacites et les tufs dacitiques ainsi que les intrusions dacitiques et QFP des unités 4A et 5A. Ces lithologies se présentent sous formes massives à fracturées et sont souvent affectées par une schistosité fortement pénétrative. Ces laves, volcanoclastites et intrusions sont principalement composées de plagioclase (variété albite) et de quartz ainsi qu'une faible proportion de titanite (sphène). Des phénocristaux d'amphiboles sont parfois observés pour les échantillons d'intrusions dacitiques et QFP. Les minéraux secondaires observés et/ou calculés sont principalement l'orthose, la séricite, la chlorite, l'épidote, la paragonite et un carbonate (variété calcite). Les phases d'oxydes calculées et/ou analysées sont la magnétite, l'hématite et l'ilménite. Les lithologies du sous-domaine dacite sont subdivisées en deux faciès minéralogiques soit un premier faciès à albite – quartz – chlorite – orthose/séricite ± épidote, calcite et un second faciès à quartz – orthose – albite – séricite – chlorite ± magnétite et sulfures qui représente un niveau d'altération hydrothermale plus élevée. Les principaux sulfures reconnus correspondent à de traces à 5 % de pyrite et de chalcopryrite. La pyrrotine est parfois observée localement. Comparativement aux pyrites et chalcopryrites analysées jusqu'à maintenant dans les lithologies de stériles des domaines mafiques et intermédiaires, celles associées au domaine dacitique sont légèrement plus riches en fer et cuivre (chalcopryrite) et possèdent des concentrations inférieures en soufre. Dans certains échantillons, la chalcopryrite est partiellement ou totalement remplacée par de la digénite et présente en sections polies une altération prononcée de sa surface de couleur jaune-or. Les grains de sulfures sont

xénomorphes à automorphes et leur dimension varie de 10 μm à 2 mm atteignant localement 5 mm. Les principales typologies reconnues correspondent à des disséminations, de petits amas centimétriques ainsi que du remplissage de fractures. La classification métallogénique indique qu'une partie des échantillons de la série AK14 ENV est classée stérile alors que l'autre partie est classée minéral.

Les lithologies de l'unité 4A sont d'affinité transitionnelle à calco-alcaline et sont caractérisées par des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ et Ti/Zr variant respectivement de 18 à 48 et de 18 à 46. Les lithologies de l'unité 5A sont d'affinité calco-alcaline avec des ratios allant de 41 à 69 ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$) et de 16 à 31 (Ti/Zr). Plus de 50 % des échantillons des unités 4A et 5A sont caractérisés par des teneurs élevées en Cu (1 à 15750 ppm), Ba (70 à 2150 ppm), Cr (10 à 778 ppm) et Mo (0,5 à 518 ppm). Ces teneurs, qui sont supérieures aux critères A (Annexe B), suggèrent que chacun de ces métaux pourrait éventuellement représenter un risque pour l'environnement s'ils sont lixiviés des lithologies de l'unité 4A et incorporés dans les eaux de drainage. Un total de 65 % des échantillons de l'unité 4A et 60 % de l'unité 5A soumis aux essais TCLP ont lixivié du cuivre à des teneurs supérieures au critère Cu du RESIE (Golder, 2015). Les concentrations pour les autres métaux sont demeurées en deçà des critères RESIE pour chacun d'entre eux (Tableau 4.7). Sur la base de ces résultats, entre 60 % et 65 % des résidus miniers des lithologies des unités 4A et 5A sont considérés lixiviables pour le cuivre et à faibles risques pour les autres métaux incluant le baryum, le chrome et le molybdène.

Pour l'ensemble des 73 échantillons des deux unités, les concentrations en C_{total} se situent entre 0,01 % et 0,94 % alors que 35 % des échantillons ont retourné des concentrations en S_{total} situées entre $\geq 0,03$ % et 2,20 %. Les résultats des essais statiques indiquent que les valeurs de PPN_{Carb} se situent entre -67 et 77,6 kg CaCO_3/t alors que celles pour le $\text{PNN}_{\text{acisol}}$ varient de -79 à 30 kg CaCO_3/t . Les valeurs de RPN_{Carb} vont de 0,03 à 658 alors qu'on obtient des valeurs de 0,1 à 46,4 pour le $\text{RPN}_{\text{acisol}}$. Les résultats obtenus de ces paramètres environnementaux suggèrent que les lithologies du sous-domaine dacite minéral possèdent un potentiel très faible à possible de générer un drainage minier acide.

Les eaux de drainage percolant entre les fragments de lithologies du sous-domaine dacite minéral seraient caractérisées par des pH neutres à légèrement alcalins selon les résultats obtenus des essais en mini-cellules. Les métaux alcalins et le S_{total} seront rapidement lixiviés des lithologies du sous-

domaine dacite minerais et leurs concentrations deviendront rapidement très faibles dans les eaux de drainage. Les teneurs en Si et Al pourront cependant présenter plusieurs cycles de variations tout au long du processus selon les taux de dissolution des silicates. Les travaux d'essais cinétiques suggèrent que du manganèse serait lixivié des fragments de minerai et de stérile et pourrait se retrouver à de faibles concentrations dans les eaux de drainage minier. Selon les résultats des essais cinétiques, la corrélation entre l'augmentation des teneurs en Mn et celles en calcium est possible, mais demeure cependant difficile à établir. De plus les résultats indiquent qu'aucun métal ayant initialement des teneurs considérées à risque pour l'environnement n'est susceptible de se retrouver dans les eaux de drainage. Cette interprétation est cependant limitée à des essais en conditions de laboratoire.

Les droites d'oxydo-neutralisation suggèrent que les lithologies de stériles sont caractérisées soit par un potentiel de génération acide qui varie de très faible (intrusions dacitiques) à possible (tufs dacitiques et dacites). Le caractère ambivalent est également reconnu lorsque l'on considère rapports RPN et les concentrations en S_{tot} . Les valeurs de RPN_{Carb} et RPN_{acisol} de tous les échantillons de stériles du sous domaine dacite minerais sont $< 1,0$ et suggèrent un potentiel certain de génération d'un drainage acide. Cependant, les teneurs en S_{total} de ces échantillons sont respectivement de 0,18 % et 0,26 % suggérant, selon la Directive 019, que ces échantillons ne sont pas classés acidogènes. Les calculs obtenus indiquent que deux des trois échantillons de stériles sont caractérisés par un très faible potentiel de génération acide avec des taux d'épuisement du calcium allant de 2,5 fois à 10 fois plus lent que ceux du S_{total} . Les échantillons de minerai possèdent tous un potentiel possible de génération d'acide et sont caractérisés par un taux d'épuisement du calcium de 6,5 à 8 fois plus rapide que celui du S_{tot} . Ce potentiel est également suggéré par les valeurs de RPN_{Carb} et RPN_{acisol} sont $\leq 0,5$ et des teneurs en S_{tot} de 1,0 % et 2,02 %.

L'ensemble des résultats indiquent que les stériles des unités 4A et 5A serait classé à faible risque pour la plupart des métaux, mais qu'entre 60% et 65% seraient considérés lixiviables pour le cuivre. Les échantillons analysés pour le S_{total} et C_{total} ainsi que les résultats des courbes d'oxydo-neutralisation indiquent que les lithologies de stériles associées aux intrusions dacitiques du sous-domaine dacite minerais sont classées à très faible risque de génération acide alors que les lithologies de tufs et de volcanites dacitiques sont classées à potentiel possible de génération acide.

Sous-domaine andésites alcalines minéral

Les lithologies appartenant au sous-domaine andésites alcalines minéral sont associées à l'unité 4B. Les volcanites sont généralement caractérisées par une schistosité faiblement à modérément pénétrative. La composition minéralogique primaire comprend principalement du plagioclase (variété albite) et du quartz alors que les minéraux secondaires observés et/ou calculés sont la séricite, la chlorite, l'épidote, l'orthose, de l'apatite, de la titanite et la calcite. De faibles quantités d'hématite normative sont également associées à ces volcanites. Selon l'intensité de l'altération hydrothermale, les andésites alcalines sont subdivisées en deux faciès minéralogiques soit a) un faciès à albite – quartz – chlorite – épidote \pm séricite et calcite représentant un degré d'altération hydrothermale de faible intensité et b) un faciès à albite – quartz – séricite – chlorite \pm sulfures. Les principales phases sulfurées correspondent à ≤ 2 % de pyrite et < 1 % de chalcopryrite. Tout comme les échantillons du sous-domaine dacitique, la chalcopryrite est partiellement ou totalement remplacée par de la digénite. Les grains de sulfures sont de formes xénomorphes à automorphes et leur dimension varie de 5 μm à 600 μm . Ils se présentent sous forme disséminée ainsi que sous forme de minces filons mis en place dans la schistosité. La classification métallogénique des échantillons indique qu'une partie des échantillons est classée stérile alors que l'autre partie est classée minéral.

Les andésites alcalines de l'unité 4B sont d'affinité calco-alcaline et possèdent des rapports $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ et Ti/Zr variant respectivement de 27 à 34 et de 30 à 39. Tous les échantillons contiennent des teneurs en cuivre (145 à 3289 ppm) qui sont supérieures au critère A pour ce métal alors qu'environ 45 % des échantillons sont caractérisés par des teneurs en molybdène et baryum supérieures à ce critère (Annexe B). Cependant et en comparaison avec les autres unités présentées jusqu'à maintenant, les concentrations en baryum ne sont que très légèrement supérieures au critère générique A.

Les échantillons soumis aux essais TCLP ont tous libéré du cuivre à des teneurs qui sont supérieures au critère RESIE (Tableau 4.7) alors que tous les autres métaux ont été libérés à des concentrations en deçà des critères RESIE. Ces résultats indiquent que les échantillons sont à faible risque libérables pour le cuivre. Un total de 33 % des échantillons possèdent des concentrations en S_{tot} qui varient de 0,3 % à 1,08 % alors que les concentrations en C_{tot} sont généralement $\leq 0,69$ %. Les résultats des essais statiques chimiques indiquent que les valeurs de PNN_{Carb} et de varient

de -29,6 à 53,3 kgCaCO₃/t alors que celles de PNN_{acisol} se situent entre -3,2 et 13 kgCaCO₃/t. Les résultats des RPN_{acisol} vont de 0,6 à 9,8 alors que ceux du RPN_{Carb} se situent entre 0,08 et 16,4. Sur la base des résultats de S_{tot}, PNN_{Carb} et RPN_{Carb}, un total de 33 % des échantillons sont considérés comme résidus miniers acidogènes possibles selon la Directive 019.

Un seul échantillon (AKA14 ENV-067) a été soumis aux essais en mini cellules d'altération. Les résultats obtenus suggèrent que les eaux issues de la lixiviation seront caractérisées par un pH neutre. Cependant, ces eaux sont susceptibles de contenir une faible quantité de manganèse dont les concentrations pourraient progressivement augmenter avec le temps. L'un des principaux risques des eaux de drainage en provenance des andésites alcalines de l'unité 4B est associé à la présence de Cu dont les concentrations sont susceptibles de dépasser les critères pour les eaux souterraines qui sont appliqués aux RESIE.

La droite d'oxydo-neutralisation obtenue pour l'échantillon de l'unité 4B indique que ce dernier possède un potentiel non générateur d'acide. Cette interprétation s'appuie également sur une faible concentration en S_{tot} de 0,26 % et un taux d'épuisement du S_{tot} qui est deux fois plus rapide que celui du calcium. Cette interprétation est cependant confrontée aux valeurs de RPN_{Carb} et RPN_{acisol} qui sont respectivement de 0,2 et de 0,6 et les PNN_{Carb} et PNN_{acisol} de -6,6 et -3,2 kg CaCO₃/t et qui sous-entendent que l'échantillon possède un potentiel acidogène allant de très faible à incertain.

4.4.2.3 Le Domaine intermédiaire

Le Domaine intermédiaire est principalement composé des andésites alcalines de l'unité 5B qui sont localisées dans la portion sud de la future fosse. Ces andésites se présentent sous forme de coulées massives à schisteuses et de niveaux de tuf parfois rubanés et minéralisés. La présence d'une structure schisteuse représente des espaces favorables à la percolation des eaux de surface (Tableau 4.15). Ces plans de schistosité peuvent également se débiter facilement et exposer des surfaces susceptibles de représenter un risque de génération de drainage acide, particulièrement si certains sulfures (ex. pyrite, pyrrhotine) se mettent en place le long de ces plans. Nos observations sur des carottes de forage confirment que des sulfures sont présents le long des plans de schistosité de l'andésite alcaline de l'unité 5B.

Les principales phases minéralogiques identifiées et/ou calculées sont le quartz et le plagioclase (variété albite). Deux faciès minéralogiques sont reconnus avec l'augmentation de l'altération hydrothermale soit : a) un faciès à albite – quartz – séricite – chlorite – épidote ± paragonite, calcite,

orthose et b) un faciès à quartz – albite – séricite/orthose – chlorite \pm calcite, sulfures. Il est important de mentionner que plus de 50 % des échantillons de l'unité 5B sont caractérisés par la présence de paragonite normative (0 à 10 %). Ce phyllosilicate est quasi-absent dans les échantillons des autres unités lithologiques. Du rutile a également été analysé dans une section polie (AKA14 ENV-053). Les proportions de pyrite et de chalcopirite normatives sont respectivement inférieures à 2 % et 0,8 %. La classification métallogénique indique que 77 % des échantillons de la série AKA14 ENV de l'unité 5B feront partie des stériles miniers.

Les andésitiques alcalines de l'unité 5B sont d'affinité calco-alcaline et possèdent des rapports Al_2O_3/TiO_2 et Ti/Zr variant respectivement de 38 à 96 et de 12 à 35. Le baryum, le cuivre et le molybdène représentent les principaux métaux qui peuvent éventuellement être classés à risque (Annexe B). Les teneurs maximales pour ces métaux sont généralement ≤ 580 ppm (Cu), ≤ 55 ppm (Mo) et ≤ 660 ppm (Ba). Un total de 67% des échantillons de l'unité 5B soumis aux essais TCLP ont lixivié du Cu à des teneurs supérieures au critère du RESIE de 0,0073 mg/L alors que les autres métaux sont demeurés en deçà de leurs critères respectifs. Les concentrations en S_{tot} varient de $\leq 0,03$ % à 4,12 % et 36 % des échantillons possèdent une teneur en $S_{tot} > 0,3$ %. Les concentrations en C_{tot} se situent entre 0,05 % et 0,91 %. Les valeurs obtenues pour les calculs et mesures en laboratoire du PNN_{Carb} et PNN_{acisol} varient respectivement entre -96 à 75,8 kgCaCO₃/t et -109 à 36 kgCaCO₃/t alors que les calculs de RPN_{Carb} et RPN_{acisol} sont de 0,11 à 1030 et de 0,06 à 12,8. Ces résultats indiquent que le potentiel de génération d'acide pour les échantillons de l'unité 5B varie de très faible à possible. De plus, la majorité des échantillons dont les concentrations en S_{tot} sont supérieures à 0,3 % possèdent des valeurs de PNN_{Carb} , et/ou PNN_{acisol} inférieures à 20 kg CaCO₃/t avec ou sans valeurs de RPN_{Carb} et/ou RPN_{acisol} inférieures à 3. Ces résultats confirment que ces échantillons sont classés comme résidus miniers à potentiel acidogène incertain à possible.

Pendant les premiers mois et/ou années d'exposition de dacites alcalines du domaine intermédiaire aux conditions de surface, les eaux de drainage seront caractérisées par des valeurs de pH légèrement alcalines selon les résultats des essais en mini-cellules d'altération et un potentiel d'oxydo-réduction de 600 mV. Les essais en mini cellules d'altération suggèrent également que les concentrations en métaux alcalins (Na, K, Mg), le Si, Al ainsi que le S_{tot} seront rapidement lixiviés dans les eaux de drainage minier et deviendront quasi nulle à long terme. Comme pour les échantillons du sous-domaine basaltique, ces essais suggèrent également que les fragments de lithologie du domaine intermédiaire seront susceptibles de lixivier progressivement du manganèse

et du calcium. Ces résultats n'ont cependant pas été observés lors des essais en colonnes. Les analyses au MEB réalisées sur des sections polies des échantillons AKA14 ENV-053 indiquent que quelques échantillons de calcite contiennent 0,03 % et 0,44 % de manganèse. Les droites d'oxydo-neutralisation indiquent que l'épuisement du calcium surviendra bien avant l'épuisement du soufre total associé aux sulfures indiquant que des échantillons du domaine intermédiaire sont caractérisés par un potentiel certain de génération d'un drainage minier acide. Cependant, les interprétations obtenues à l'aide des valeurs de RPN_{Carb} et RPN_{acisol} ainsi que PNN_{carb} et PNN_{acisol} suggèrent que certains échantillons confirmés acidogènes avec les droites d'oxydo-neutralisation peuvent être interprétés à potentiel nul à incertain de génération de DMA. Devant l'ambiguïté des résultats, l'interprétation du potentiel de génération de drainage minier acide pour les échantillons du domaine intermédiaire devra ainsi être réalisée avec circonspection. Ceci est d'autant important alors que pour certains échantillons (ex. AKA14 ENV 053) de faibles teneurs en S_{total} de l'ordre de 0,34 % peuvent mener à l'interprétation, selon les essais cinétiques, d'un potentiel certain de drainage acide.

4.4.3 Représentation spatiale

La représentation spatiale des domaines géoenvironnementaux nécessite l'utilisation et la combinaison de cellules nommées cellules géoenvironnementales et qui sont un équivalent des blocs géométallurgiques de Lotter et *al.*, (2011), Delago-Vega (2013) et Moore (2014). Une cellule géoenvironnementale est composée d'un ensemble d'un ou de plusieurs échantillons répartis dans l'espace et contenant chacun des informations de natures géologique et environnementale (Figure 4-27). Chaque cellule possède une dimension déterminée et représente ainsi une portion tridimensionnelle du minerai ou des stériles miniers. Les informations qui sont prises en considération et intégrées dans les cellules géoenvironnementales sont celles utilisées pour caractériser chaque domaine géoenvironnemental (tableau 4.15).

La création du modèle prédictif 3D a été réalisée en utilisant le logiciel de modélisation numérique Gocad. Ce modèle a permis de représenter les différentes zones de risque environnemental du stérile, et ce, avant la phase de mise en production de la mine. Les résultats obtenus de cette modélisation permettront d'optimiser la gestion des stériles miniers qui sont généralement entreposés sans discrimination lithologique dans les haldes situées en surface.

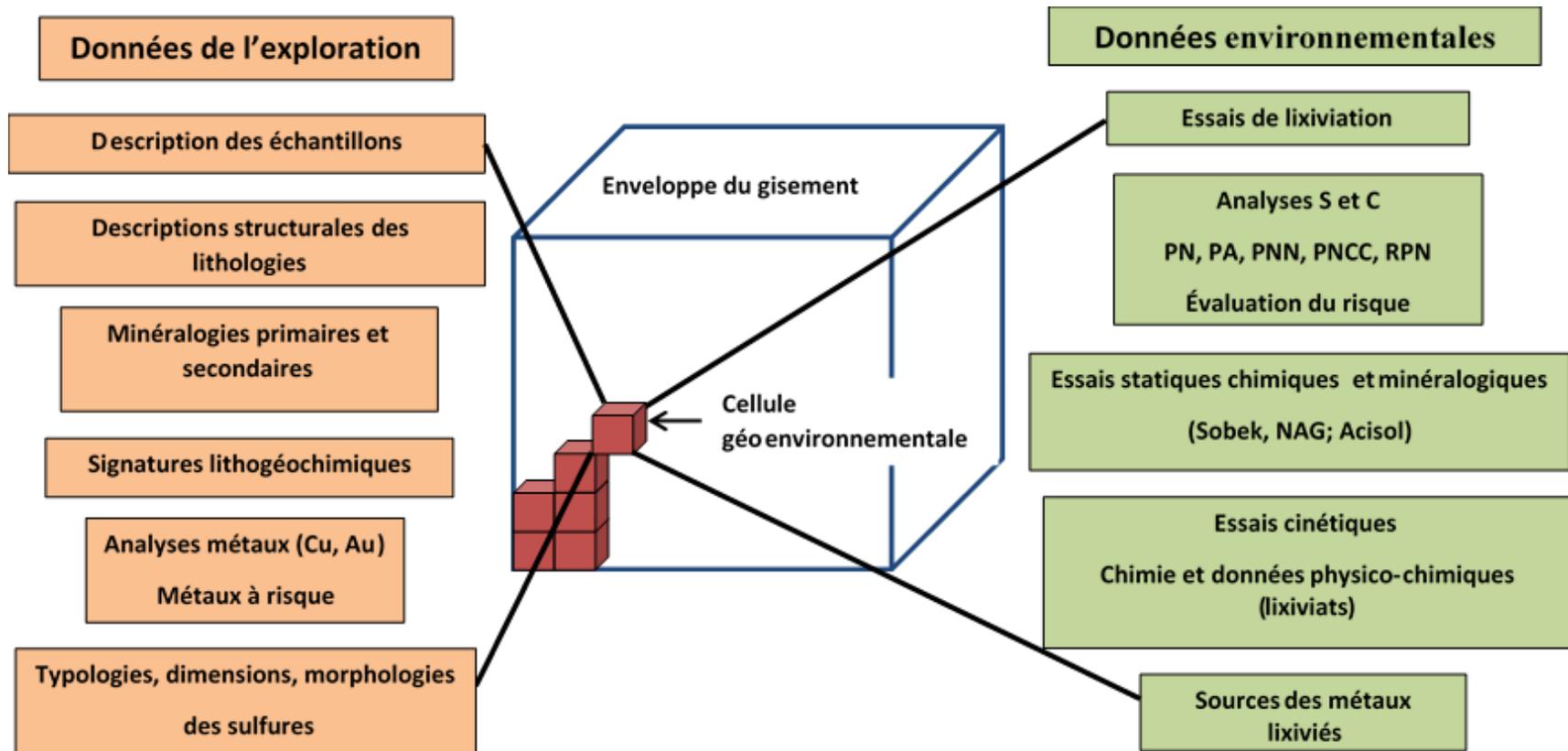


Figure 4-27 : Représentation schématique des données d'une cellule géoenvironnementale

Cette section présente quelques exemples de représentations spatiales du modèle géoenvironnemental qui peuvent être utilisés à partir des données minéralogiques et géochimiques obtenues lors des travaux réalisés à la phase exploration du projet minier. L'une des premières requêtes à réaliser consiste à visualiser la distribution spatiale des données qui ont été utilisées pour l'élaboration du modèle géoenvironnemental. Les données qui sont soumises à cette requête comprennent les traces des sondages et les localisations des échantillons géochimiques, pétrographiques et minéralogiques incluant les intervalles sur les sections de carottes (ex. pourcentage de pyrite sur l'intervalle 100 à 101 mètres du sondage 156-14-004).

La distribution des forages et des échantillons permet de vérifier si tous les secteurs de la fosse à ciel ouvert ont été couverts par des échantillons et dans l'affirmative, si ces secteurs contiennent un nombre représentatif d'échantillons nécessaire à l'étude. Dans le cas où des secteurs seraient sous-représentés, il est recommandé de réaliser des travaux complémentaires qui permettront de recueillir des échantillons supplémentaires et de réaliser des études thématiques sur ces derniers. La figure 4-28 montre la distribution de l'ensemble des sondages antérieurs (1986 à 2016) réalisés sur le projet Akasaba Ouest alors que la figure 4-29 présente les sondages considérés pour l'étude de caractérisation géochimique statique et cinétique du minerai, des roches stériles et des résidus du projet Akasaba Ouest (Golder, 2015). Les figures 4-30 à 4-42 permettent de visualiser la distribution des échantillons pour les différents paramètres utilisés dans le modèle géoenvironnemental. Selon la distribution globale des sondages présentée aux figures 4-28 et 4-29, on observe qu'il y a peu d'échantillons provenant des unités lithologiques localisées dans le secteur nord.

La prochaine requête a servi à représenter la distribution et la localisation, au sein de la fosse, des différents domaines géoenvironnementaux identifiés au tableau 4-15. La figure 4-30 indique que les lithologies de stériles du domaine géoenvironnemental mafique (unités 1 à 3) sont localisées à l'éponte nord de la lentille de minerai nord ainsi qu'à l'est de la fosse (champ vert). Cependant, une certaine proportion de basaltes andésitiques (sphère verte) et de basalte ferro titanifères (cube violet) dans le secteur sont spatialement associés au minerai. Aucun échantillon d'andésite (cube bleu) n'est situé à proximité de l'enveloppe de minerai nord. Les andésites alcalines du domaine intermédiaire (sphère rouge) qui composeront les également les stériles sont localisés au sud de la fosse ainsi qu'à l'extension ouest du domaine mafique. La figure 4-31 indique que les lithologies du domaine dacitique (minerai et stériles) sont spatialement distribués sur les zones à minerai nord

et sud. De petites zones dites satellites sont reconnues au nord des basaltes andésitiques, en profondeur et sous les lithologies du domaine mafique du secteur est de la fosse ainsi qu'interstratifiées avec des andésites alcalines du domaine intermédiaire dans le secteur sud de la fosse.

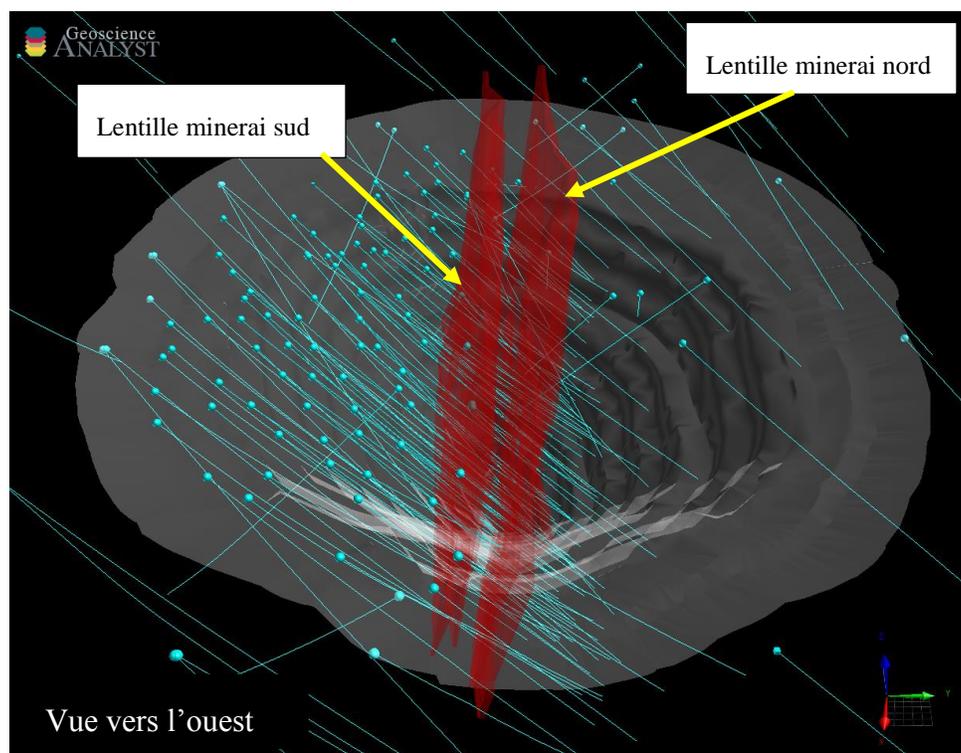


Figure 4-28 : Distribution des sondages 1986 – 2016 Projet Akasaba ouest

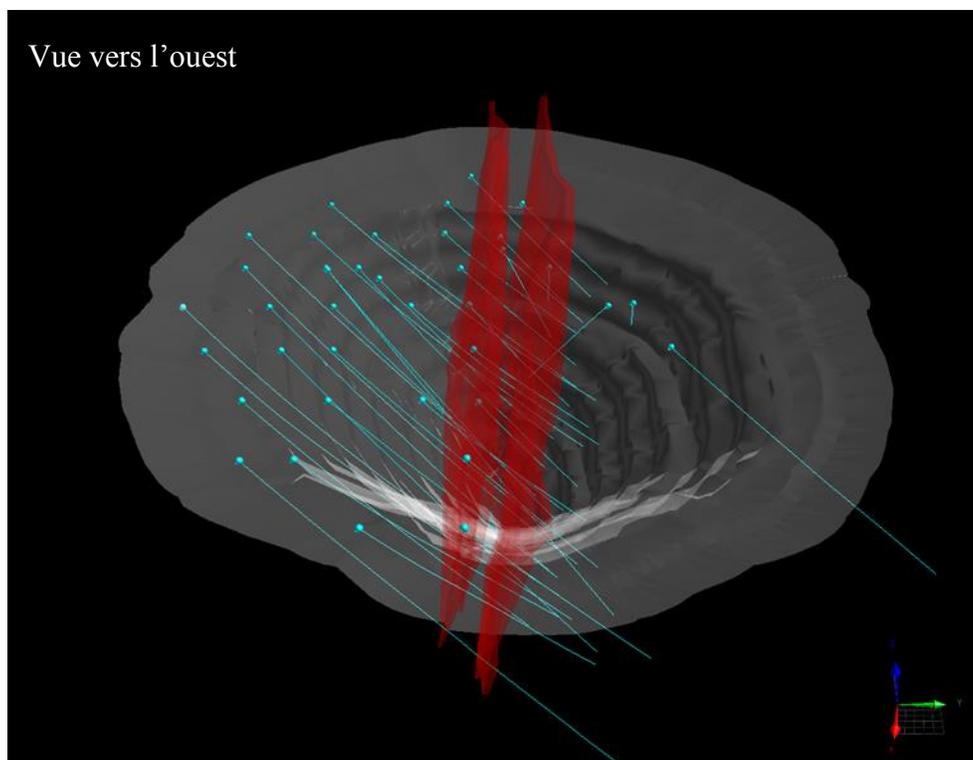


Figure 4-29 : Distribution des sondages (Étude de Golder *et Ass.* 2015)

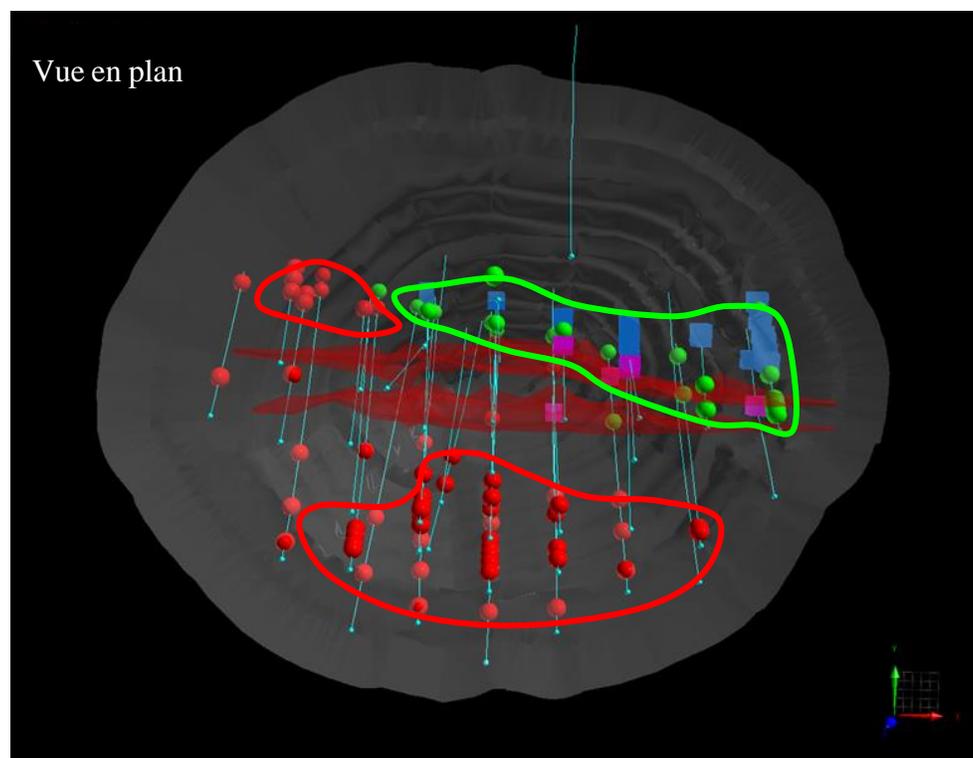


Figure 4-30 : Échantillons domaine mafique (champ vert) et intermédiaire (champ rouge)

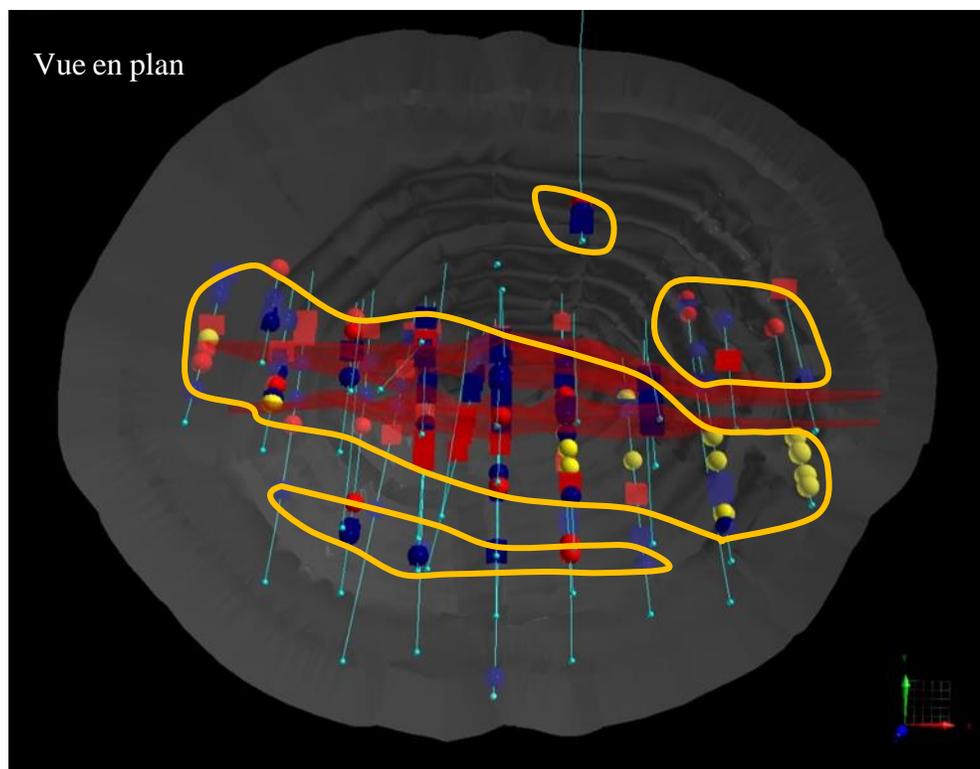


Figure 4-31 : Échantillons domaine dacitique minéral (champs jaunes)

Une troisième requête a été élaborée afin de représenter les distributions spatiales des proportions de chaque minéral de la classe des sulfures et/ou des différentes typologies obtenues des observations visuelles réalisées sur les carottes de forages. La figure 4-32 montre à titre d'exemple la distribution de la pyrite le long des sections de carottes de forages dont les proportions rapportées dans les journaux de sondages sont $\leq 1\%$ alors que la figure 4-33 montre les sections de forages contenant plus de 2 % de pyrite. Les secteurs caractérisés par de très faibles proportions de pyrite sont susceptibles de contenir des lithologies de stériles qui présenteront un risque faible à très faible de générer un drainage minier acide alors que les lithologies contenant une proportion élevée de pyrite sont susceptibles de représenter un risque faible à certain. L'observation de la figure 4-32 suggère que tous les domaines géoenvironnementaux contiennent des secteurs caractérisés par moins de 1 % de pyrite. La figure 4-33 indique que le principal secteur caractérisé des lithologies contenant plus de 2 % de pyrite se situe au sud de la fosse et englobe les domaines géoenvironnementaux dacitiques (minéral) et intermédiaires. Pour le domaine intermédiaire, le secteur contenant plus de 2 % de pyrite semble coïncider avec un horizon de tuf dacitique minéralisé (unité 5B).

En prenant en considération que la pyrite constitue le sulfure dominant pour le gisement Akasaba Ouest, il devient pertinent de connaître la distribution des différentes typologies de cette phase au niveau de la fosse, et particulièrement dans les secteurs de roches stériles. Des stériles contenant des sulfures de types disséminés où chaque grain de pyrite est entouré d'une gangue de minéraux silicatés et/ou carbonatés représentent un risque moindre de génération de DMA que des stériles contenant des sulfures de type massif. La figure 4-34 montre que les sulfures de type disséminés sont omniprésents dans les roches stériles et le minerai qui seront extraits de la fosse d'Akasaba Ouest. Des sulfures de type massifs ont également été observés sur certaines sections de sondages. Cependant, une autre vue (non représentée) montre que les sulfures massifs sont reconnus sous les limites projetées de la fosse et ne seront donc pas inclus dans les haldes à stériles.

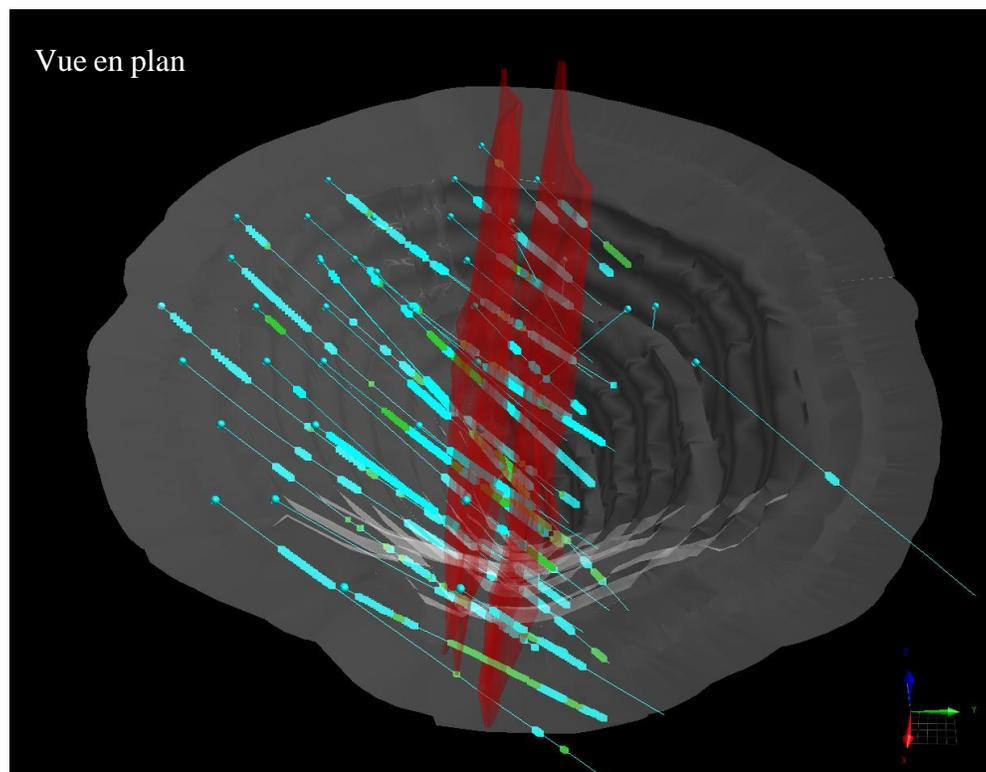


Figure 4-32 : Distributions de pyrite $\leq 1\%$.

Points bleus (entre 0,2% et 0,5% py), points verts (entre 0,5% et 1% py)

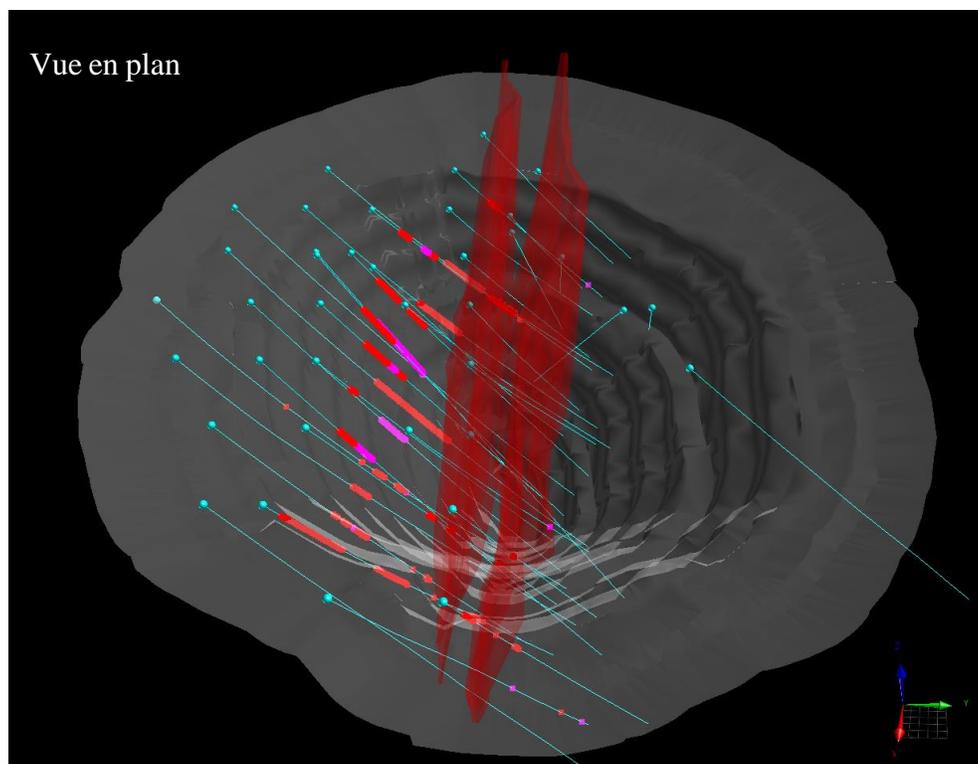


Figure 4-33 : Distribution de pyrite >2%. Points rouges (2 - 5% py); points violets (> 5% py)

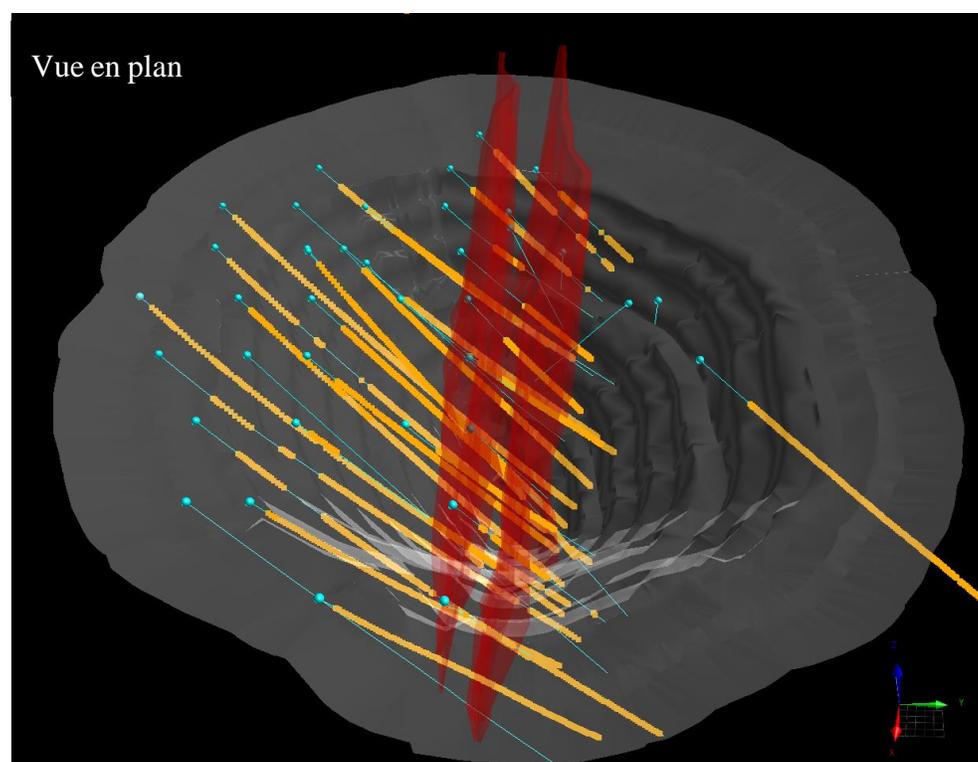


Figure 4-34 : Distribution des sulfures de type disséminé (points oranges)

Une quatrième requête a consisté à utiliser les paramètres calculés par des essais statiques lors des phases exploration et de mise en valeur du gisement pour représenter les secteurs de la fosse qui contiennent des lithologies susceptibles de représenter un risque environnemental. La figure 4-35 présente la distribution des concentrations en S_{total} sur les échantillons provenant de toutes les lithologies de stériles et de minerai du gisement. L'observation de cette figure permet de constater que les échantillons caractérisés par des teneurs en S_{total} sont inférieures à 0,3% sont localisés au nord de la lentille de minerai nord ainsi que dans le secteur sud de la fosse. Ces échantillons sont spatialement associés aux domaines géoenvironnementaux mafiques et intermédiaires. La figure 4-36 présente la distribution des échantillons dont les teneurs en S_{total} sont supérieures ou égale 0,3%. Les résultats présentés indiquent que ces échantillons sont associés au domaine géoenvironnemental dacitique (Figure 4-31) ainsi qu'à certains secteurs situés dans la portion sud de la fosse contenant des lithologies considérées stériles du domaine dacitique,

Les représentations spatiales des résultats des essais statiques chimiques pour les échantillons des lithologies de stériles et de minerai sont présentées aux figures 4-37 et 4-38. La figure 4-37 montre que les lithologies caractérisées par un $PNN_{carb} > 20 \text{ kg CaCO}_3/t$ sont principalement localisées au nord de la lentille nord de minerai ainsi que dans le secteur sud de la future fosse. Ces lithologies correspondent respectivement à celle des domaines géoenvironnementaux mafiques et intermédiaires. Cette même figure indique que les lithologies caractérisées par un $PNN_{carb} \leq -20 \text{ kg CaCO}_3/t$ sont situées le long de la lentille sud de minerai ainsi que dans le secteur sud de la future fosse. Les représentations spatiales des PNN_{carb} sont similaires à celles obtenues pour les valeurs de PNN_{Acisol} (Figure 4-39).

La distribution spatiale des résultats obtenus des calculs des ratios RPN_{carb} est présentée à la figure 4-38 et suggère que les échantillons caractérisés par un potentiel considéré nul de génération acide ($RPN_{carb} > 3$) sont localisés au nord de la lentille de minerai nord (domaine mafique) ainsi que dans le secteur sud de la fosse (domaine intermédiaire). Les échantillons qui sont caractérisés par un potentiel certain de génération acide ($RPN_{carb} < 1$) sont principalement localisés entre les deux lentilles de minerai, ainsi qu'au sud de la lentille de minerai sud. Ces échantillons sont associés au domaine géoenvironnemental dacitique (minerai et stérile) de même qu'à certains échantillons appartenant au domaine intermédiaire. Dans ce dernier cas, ces échantillons sont associés à des tufs dacitiques minéralisés de l'unité 5B. La représentation des résultats des valeurs de RPN_{Acisol}

(Figure 4-40) suggère les mêmes interprétations sur l'interprétation des secteurs à risque possible de générer un drainage minier acide.

Les résultats obtenus des essais en mini-cellules d'altération ont mis en évidence la lixiviation de manganèse des échantillons de certaines lithologies, dont ceux associés aux basaltes andésitiques du domaine géoenvironnemental mafique. Les essais d'extraction séquentielle et les travaux de minéralogie au MEB ont permis d'identifier que la calcite serait le minéral hôte du manganèse lixivié de certaines lithologies dont les basaltes andésitiques.

Les figures 4-41 et 4-42 présentent respectivement la distribution spatiale des échantillons qui sont caractérisés par des valeurs de calcite normative supérieures à 3% ainsi que la distribution des teneurs en Mn de certains échantillons analysés pour chacune des lithologies. En se basant sur la valeur de référence (Critère A) pour les métaux à risque de 1000 ppm pour le manganèse, la figure 4-42 indique la présence d'une zone à risque probable de lixiviation du manganèse adjacente à la lentille de minerai nord dans le secteur est de la fosse. Les lithologies présentes dans ce secteur correspondent aux basaltes andésitiques ainsi qu'aux basaltes ferro-titanifères des unités 1 et 2 du domaine mafique (Figure 4-30).

La représentation de la distribution des proportions de calcite normative de la figure 4-41 peut également être comparée avec la distribution des valeurs de PNN et RPN des figures 4-37 à 4-40. L'observation de ces figures suggère qu'il existe une corrélation spatiale entre les secteurs de la fosse dont le risque de génération d'un drainage minier acide sera de nul à faible (PNN_{carb} et $PNN_{acisol} > 20 \text{ kg CaCO}_3/t$ et/ou RPN_{carb} et $RPN_{acisol} > 3$) et les secteurs où la proportion de calcite normative est supérieure à 3%.

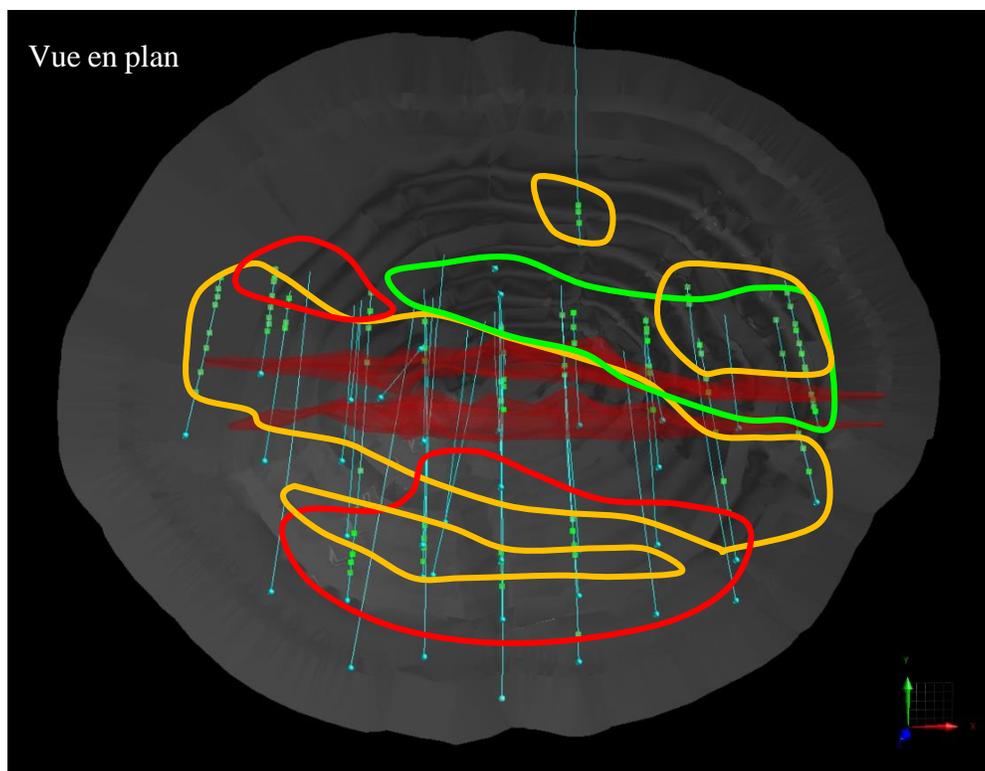


Figure 4-35 : Distribution des échantillons avec $S_{tot} < 0,3 \%$ (points verts)

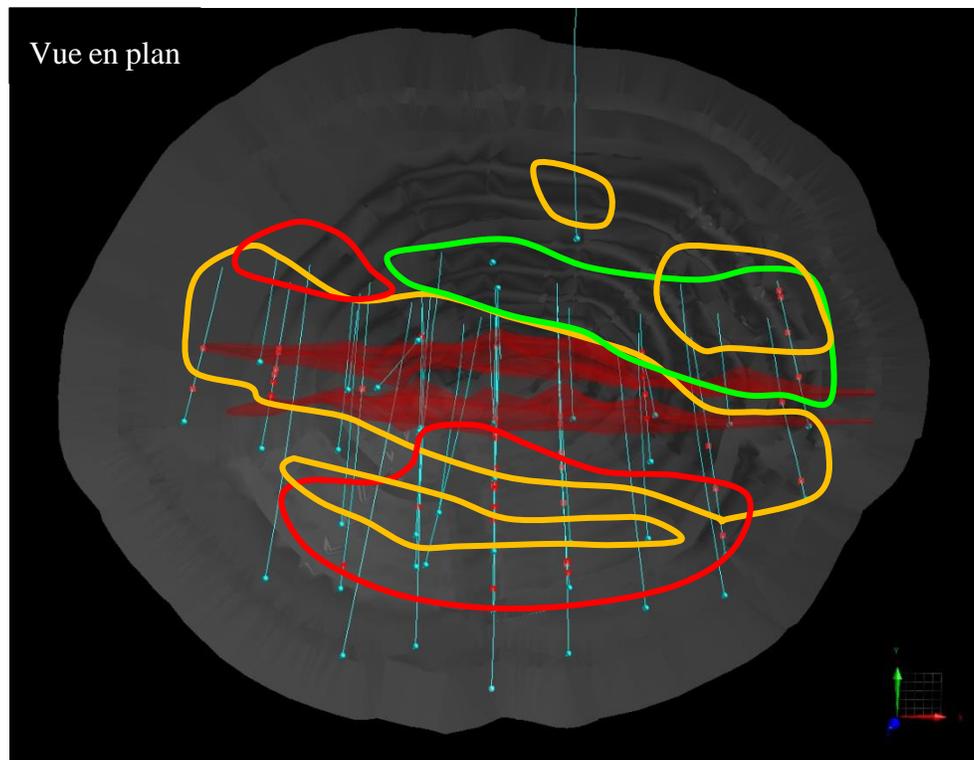


Figure 4-36 : Distribution des échantillons avec $S_{tot} \geq 0,3\%$ (points rouges)

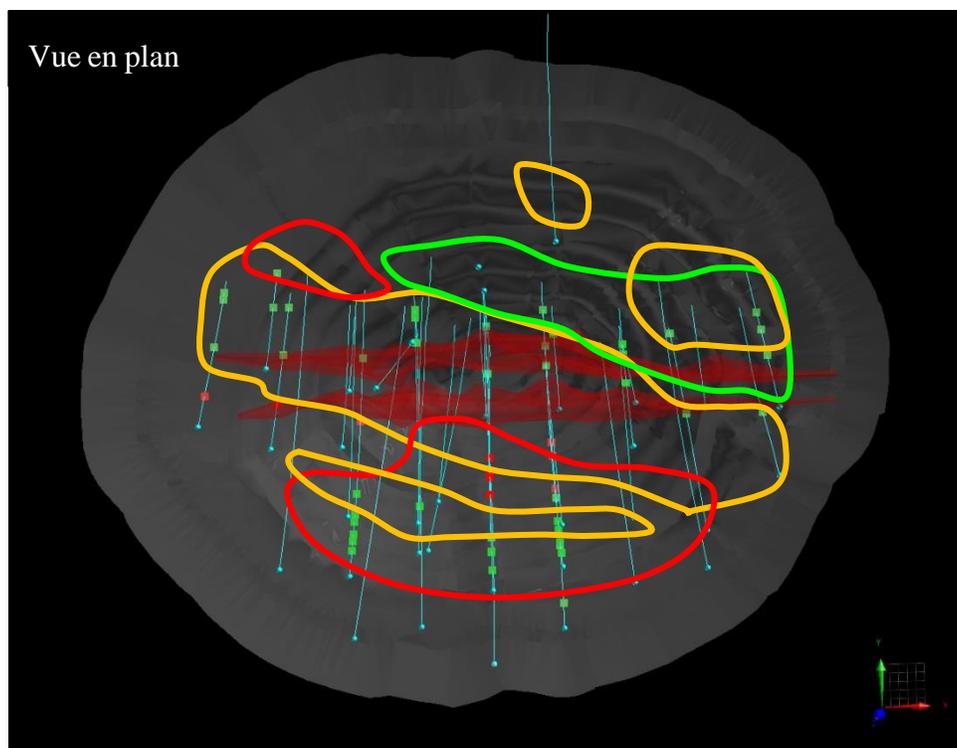


Figure 4-37 : Distribution des valeurs $PNN_{carb} > 20$ (points verts) et $PNN_{carb} < -20$ (points rouges)

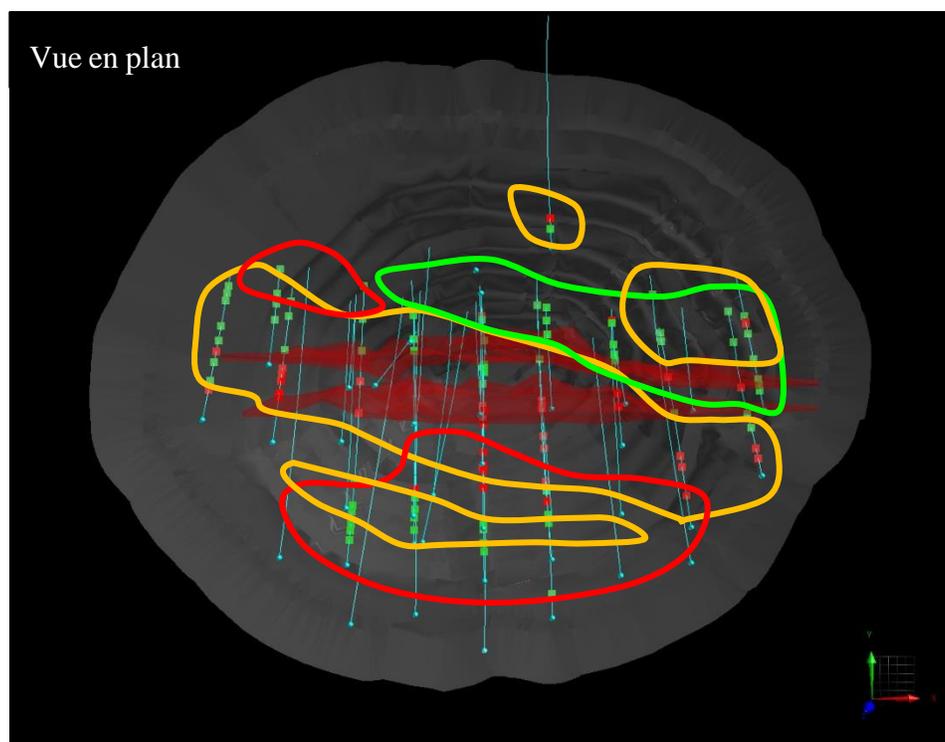


Figure 4-38 : Distribution des valeurs $RPN_{carb} > 3$ (points verts) et $RPN_{carb} < 1$ (points rouges)

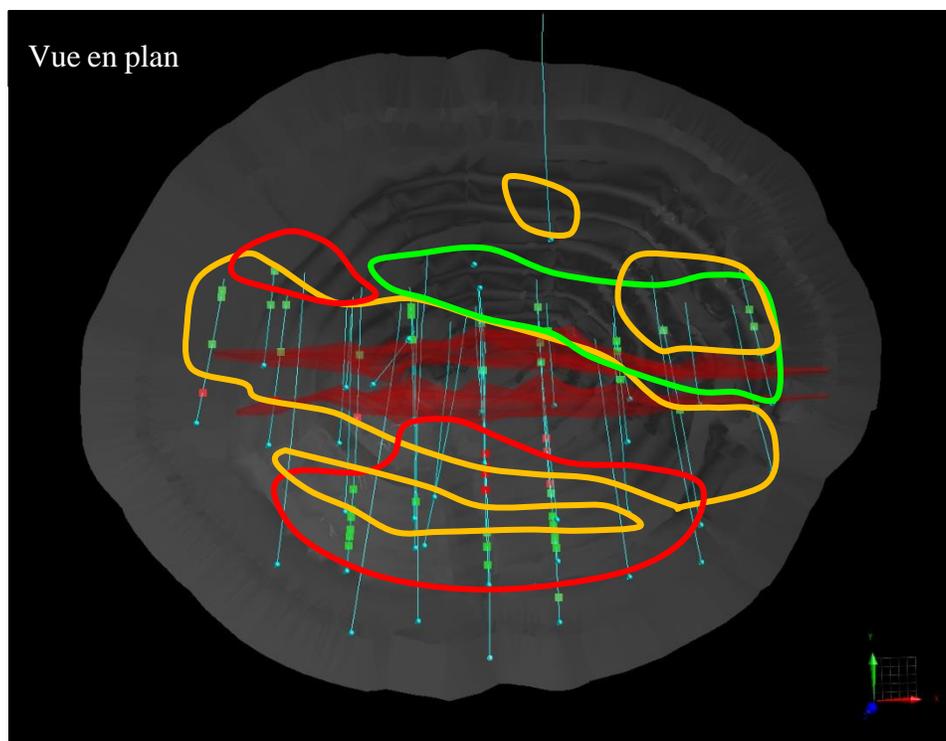


Figure 4-39 : Distribution des valeurs $PNN_{Acisol} > 20$ (points rouges) et $PNN_{Acisol} < -20$ (points verts)

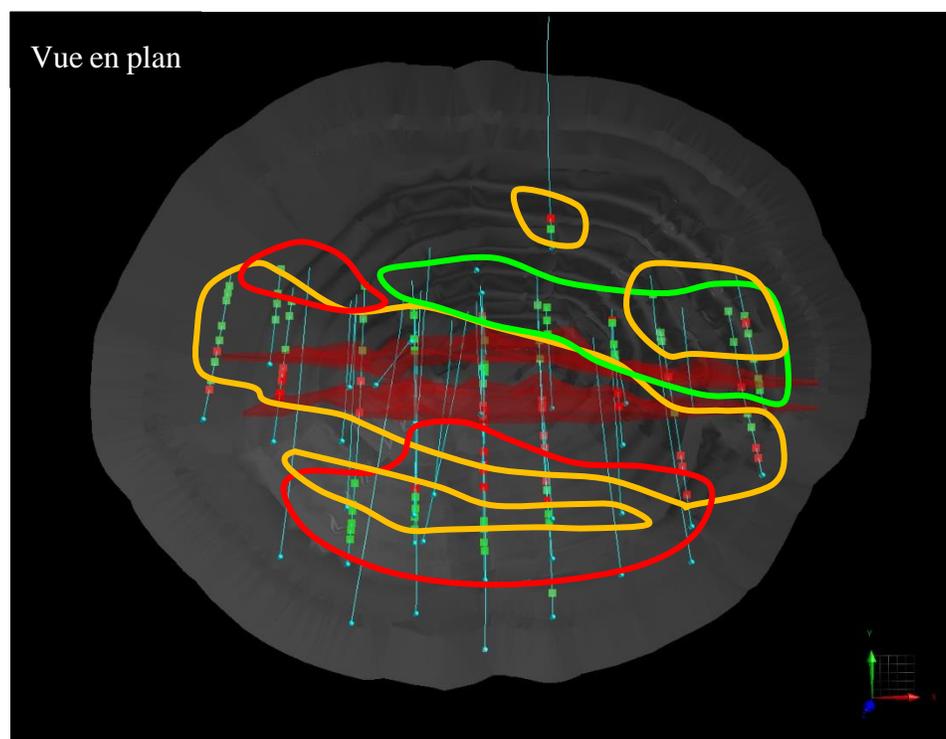


Figure 4-40 : Distribution des valeurs $RPN_{Acisol} > 3$ (points verts) et $RPN_{Acisol} < 1$ (points rouges)

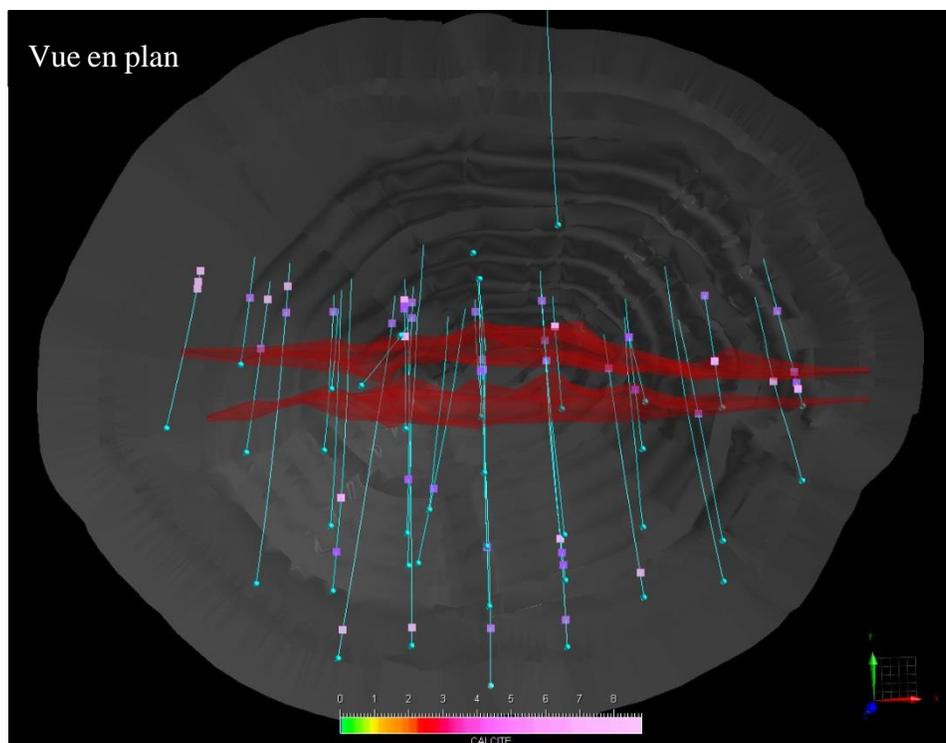


Figure 4-41 : Distribution des valeurs en calcite normatives > 3% (points violets)

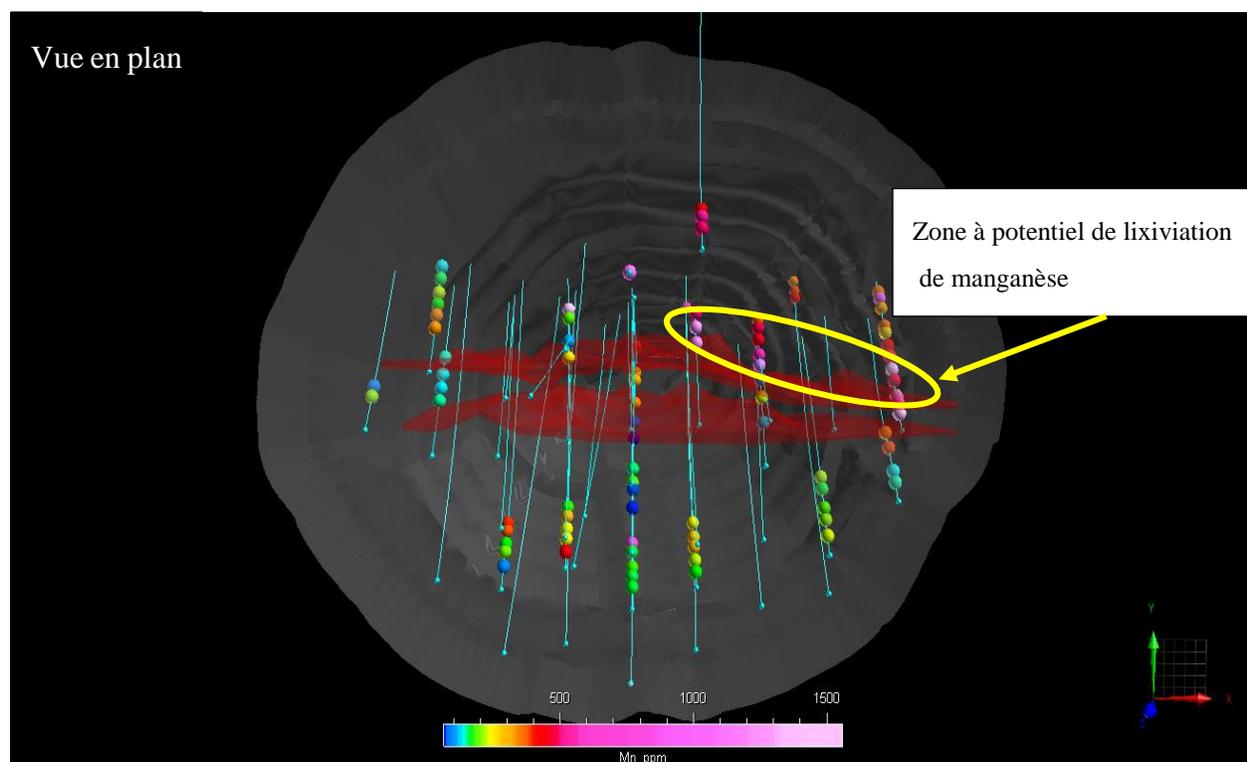


Figure 4-42 : Distribution des concentrations en Mn (ppm)

4.4.4 Gestion des stériles miniers

Les projections spatiales des résultats obtenus lors des travaux de minéralogie et de géochimie réalisés aux différentes phases du projet minier ont permis de faire une première discrimination entre les différents secteurs de la future fosse selon le degré de risque environnemental des lithologies. La distribution spatiale des différents domaines géoenvironnementaux (Figures 4-30 et 4-31) indiquent que les limites de chacun des domaines sont dans l'ensemble bien circonscrit et qu'il n'existe que peu de recoupement entre chaque domaine.

Le premier secteur englobe les lentilles de minerai nord et sud et comprend principalement les lithologies du domaine géoenvironnemental dacitique. Ces lithologies incluent celles du sous-domaine dacite minerai (unités 4A et 5A) ainsi que celles du sous-domaine andésites alcalines minerai (unité 4B). Ces lithologies contiennent une grande partie du minerai et sont caractérisées par des valeurs de PNN et RPN suggérant un risque de génération d'un DMA, particulièrement entre les lentilles de minerai ainsi qu'à l'éponte sud de la lentille de minerai sud (Figures 4-36 et 4-38). Les risques environnementaux de ces lithologies seront particulièrement importants à considérer. Cependant, ces unités lithologiques composeront principalement le minerai qui sera extrait du gisement et transporté à l'usine située à plus de 25 km du site Akasaba Ouest pour en extraire les métaux, dont l'or et le cuivre. Les risques environnementaux des résidus du minerai seront gérés selon les approches définies du plan de gestion d'un parc à résidus miniers. Cependant, trois lentilles satellites contenant des lithologies du domaine dacitique sont reconnues comme interstratifiées entre des lithologies de stériles du domaine intermédiaire et du domaine mafique (Figures 4-35, 4-38 et 4-40). Comme ces lithologies du domaine dacitique sont caractérisées par des paramètres (S_{total} , PNN et RPN) suggérant un risque nul à faible de génération de DMA, elles pourront être entreposées dans une halde spécifique en surface (halde #1) contenant du matériel non générateur d'acide et ayant un potentiel en lixiviation des métaux faible, voire nul.

Les lithologies correspondant aux stériles miniers qui seront éventuellement entreposées en surface sont principalement associées aux domaines géoenvironnementaux mafiques (unités 1, 2 et 3) et intermédiaires (unité 5B). La distribution spatiale des différents domaines géoenvironnementaux (Figures 4-30 et 4-31) indique que les unités lithologiques du domaine mafique sont localisées à l'éponte nord de la lentille de minerai nord (secteurs centre et est de la fosse) alors que les lithologies de l'unité 5B du domaine intermédiaire sont situées dans le secteur sud de la fosse de

ainsi qu'en extension ouest du domaine mafique. L'ensemble des lithologies de basaltes andésitiques, de basaltes ferro titanifères et d'andésites sont caractérisées par un risque nul à incertain de génération d'un DMA (Tableau 4.15). La possibilité pour certaines unités de lixivier une proportion de manganèse nous amènerait à proposer d'isoler les lithologies du domaine mafique dans une halde spécifique en surface qui faciliterait l'étude de la lixiviation de manganèse et la gestion de ces stériles à long terme. Comme certaines lithologies du domaine dacitique, les lithologies du domaine mafique possèdent un potentiel de risque de génération de DMA allant de nul à incertain. Cette dernière caractéristique nous amène à considérer d'entreposer les lithologies des unités 1, 2 et 3 dans la halde à stérile #1, mais dans un secteur isolé de cette dernière afin d'en assurer le suivi à long terme en Mn des eaux de drainage minier.

Les lithologies du domaine géoenvironnemental intermédiaire présentent un niveau de risque de génération de DMA variant de nul à certain. Les échantillons de l'unité 5B localisés dans le secteur extrême sud de la fosse ainsi que ceux situés dans l'extension ouest du domaine mafique représentent un risque quasi nul de génération d'acide sur la base des critères S_{total} , PNN et RPN (Figures 4-35 à 4-40). Cependant, quelques échantillons d'andésites alcalines de l'unité 5B situés dans le secteur sud de la fosse (Figures 4-36 à 4-40) sont caractérisés par des paramètres environnementaux suggérant un risque possible de génération de DMA. Ces échantillons correspondent probablement à un horizon de tuf dacitique minéralisé. Ces observations ainsi que la distribution spatiale des échantillons nous amènent à proposer, dans un premier temps, la gestion des stériles du domaine intermédiaire sous forme de deux haldes. Les lithologies stériles dont le risque de DMA est nul seront entreposées dans la halde #1 contenant les stériles des lithologies des trois lentilles satellites du domaine dacitique et représentant un matériel non générateur et peu lixiviable, en particulier pour le Mn. Les stériles de potentiellement générateur d'acide de l'unité 5B seront entreposés dans une deuxième halde (halde #2). L'isolement dans une halde indépendante des stériles générateurs d'acide favorisera un meilleur suivi et une gestion efficace du matériel à long terme.

4.5 Avantages et limites du protocole de caractérisation géoenvironnementale

4.5.1 Les avantages

L'application du protocole de caractérisation géoenvironnementale par une entreprise minière comporte de nombreux avantages. L'un des premiers bénéfices qu'une entreprise peut en tirer est qu'il impose une étroite collaboration entre les différents départements d'une société minière afin d'optimiser la collecte d'information et l'interprétation des données qui seront intégrées dans le modèle géoenvironnemental. Dans cette perspective, le protocole permet aux professionnels du département d'exploration de connaître l'importance et l'impact des données géologiques, géochimiques et minéralogiques qu'ils recueilleront lors de la phase exploration du projet minier. La connaissance des exigences des autres départements attitrés au projet permettra aux géologues d'exploration à décrire et détailler certaines informations non seulement dans une perspective géologique et de caractérisation économique d'un gisement, mais également environnementale. Pour les spécialistes du département de l'environnement, le protocole les aidera à connaître les différents types de données qui peuvent être prélevées sur les échantillons de roche par les géologues et qui pourront les aider à améliorer la compréhension et la résolution d'éventuelles problématiques environnementales du futur gisement. La synergie de travail entre les différents départements aidera l'entreprise à économiser temps et argent tout en permettant d'améliorer la qualité et l'efficacité de la caractérisation environnementale. Les gains en temps et en pourrait, entre autres, favoriser la réduction du délai d'attente pour l'obtention du certificat d'autorisation (CA) de la mise en production des opérations minières, ce qui aura un impact financier positif pour l'entreprise.

Le protocole propose la mise en place d'une approche structurée d'évaluation et de caractérisation environnementales qui est initiée dès les premiers travaux d'exploration et qui se poursuivra jusqu'à la phase de faisabilité d'un projet. Avec l'utilisation du protocole, il est maintenant possible d'obtenir une première évaluation des caractéristiques environnementales d'une zone minéralisée potentiellement économique dès la phase exploration. De plus, la caractérisation environnementale préliminaire aux stades précoces d'un projet permettra de comparer les résultats obtenus avec ceux des modèles géoenvironnementaux disponibles dans la littérature. Ces comparaisons pourront

conduire à l'identification de paramètres qui n'ont pas été pris en considération, recueillis ou analysés lors de la phase exploration et qui seront pertinents à la création du modèle géoenvironnemental.

L'application de protocole permet que la caractérisation environnementale soit initiée sur un très grand nombre d'échantillons dont les coûts d'acquisition sont initialement associés au budget d'exploration. L'utilisation de ces échantillons de type exploration a donc comme avantage d'obtenir une caractérisation environnementale préliminaire à peu de frais (effet du deux pour un), en particulier si on utilise certains groupements d'analyses disponibles dans les laboratoires commerciaux. Plusieurs de ces laboratoires offrent de regrouper des analyses de métaux, de carbone et de soufre à faibles coûts.

Un avantage considérable d'utiliser les données des programmes d'exploration est qu'elles permettent de former des groupes contenant une grande quantité d'échantillons qui posséderont des caractéristiques lithogéochimiques, minéralogiques, économiques (teneurs en métaux, assemblages de sulfures et typologies) et environnementales (ex. C_{total} et S_{total}) similaires. Dans chacun des groupes identifiés, des échantillons représentatifs pourront être sélectionnés et utilisés pour la phase de mise en valeur et/ou la phase de préfaisabilité du protocole afin réaliser des études exhaustives de caractérisation environnementale. Comme le projet Akasaba Ouest est situé au Québec, le protocole utilise les critères présentés dans la Directive 019 (Québec MDDEP, 2012) pour caractériser les types de résidus miniers et sélectionner les échantillons qui seront considérés représentatifs. Cependant, il est possible de modifier les critères environnementaux de classement et de sélection des échantillons représentatifs selon la ou les juridictions concernées par le projet.

Le protocole propose que le nombre d'échantillons représentatifs pour les travaux de caractérisation environnementale devienne de plus en plus restreint au fur et à mesure que l'on passe de la phase exploration à la phase mise en valeur et à la phase de préfaisabilité. Le concept qui sous-tend cette exigence est basé sur la réduction des coûts d'acquisition des données. À la phase exploration, il en coûte environ 80\$ pour déterminer des concentrations en éléments majeurs, métaux ainsi que C_{total} et S_{total} d'un échantillon. À la phase de mise en valeur du protocole, un essai Sobek, NAG ou Acisol réalisé dans un laboratoire commercial coûte entre 175 et 300\$ par échantillon. Des essais en cellules humides ou sur colonnes de lixiviation peuvent coûter quelques

milliers de dollars par échantillon selon le nombre de colonnes et de semaines d'essais ainsi que le nombre exigé d'analyses de lixiviats.

D'autres avantages non négligeables pour l'entreprise découlent également de l'utilisation du protocole de caractérisation géoenvironnementale. La connaissance des problématiques environnementales potentielles d'un gisement permet à l'entreprise d'être proactive et de rechercher, dès le début du projet minier, des solutions d'atténuation et de contrôle des sources de génération de DMA et/ou de lixiviation de contaminants. L'identification des risques environnementaux, la caractérisation des enveloppes du gisement et des stériles sous forme de domaines géoenvironnementaux et leurs projections dans l'espace aideront l'entreprise à améliorer la gestion du risque environnemental avant le début des travaux d'exploitation. La bonification de la gestion du risque environnemental conduira, à long terme, à une optimisation des coûts de restauration du gisement d'Akasaba Ouest au stade de post-fermeture. Un avantage tangible découlant de l'utilisation du protocole et d'une caractérisation géoenvironnementale exhaustive est qu'ils permettront d'améliorer l'image de responsabilité corporative de l'entreprise minière ce qui aura pour effet de favoriser l'acceptabilité sociale des citoyens et éventuellement l'appui financier de firmes d'investissement.

4.5.2 Les limites

L'utilisation du protocole présente également certaines limites. Le protocole place initialement l'emphase sur les informations recueillies lors des travaux d'exploration qui seront principalement axés l'acquisition de données géologiques provenant de carotte de sondages. Dans l'objectif de découverte et de délimitation d'un gisement, le nombre d'échantillons à caractère économique, et dont certains seraient également être utilisé pour une caractérisation environnementale, pourrait être sous-représenté pour certaines lithologies et/ou certains secteurs contenant les roches encaissantes du gisement. C'est ce que nous avons observé pour le projet Akasaba Ouest où la rareté des sondages dans le secteur nord de la future fosse mène à une absence quasi totale de données géologiques et environnementales pour les porphyres de type QFP qui seront entreposés dans une halde à stérile. Il est probable que la faible densité de forages dans ce secteur soit étroitement associée à l'absence de potentiel économique évalué de cette unité. Cet exemple démontre que les informations qui seront intégrées dans le modèle géoenvironnemental sont limitées par la disponibilité spatiale de ces dernières, particulièrement si l'entreprise débute

l'application du protocole géoenvironnemental au stade de préfaisabilité et de faisabilité du projet. Cependant, l'utilisation du protocole au stade d'exploration peut représenter un avantage, car il permet d'identifier les secteurs dont le nombre d'échantillons, qui seront ultérieurement nécessaires pour une caractérisation environnementale, est déficient.

Une autre limite du protocole concerne la représentation géostatistique des échantillons. Dans le cadre d'un projet minier, la géostatistique est principalement utilisée pour la réalisation des calculs permettant de définir et de caractériser les réserves et les ressources économiques des zones minéralisées d'un gisement. Ainsi, une caractérisation environnementale des échantillons du minerai pourrait également être appuyée par une sélection d'échantillons utilisant des méthodes géostatistiques. Cependant, la faible densité des sondages recoupant la plupart des lithologies de stériles ainsi qu'une quantité limitée d'échantillons recueillis le long de ces sondages représente une problématique importante à l'utilisation de méthodes géostatistiques pour l'évaluation environnementale des stériles.

Une troisième limite importante concerne l'interprétation des résultats de certains paramètres obtenus soit par calculs soit lors d'essais menés en laboratoire et qui mèneront à la caractérisation d'un domaine géoenvironnemental. Certains paramètres exigés par la Directive 019 doivent être interprétés avec circonspection en particulier ceux utilisant les essais TCLP, les critères de métaux à risque, les valeurs de potentiel d'acidification (PA) et les calculs d'essais statiques minéralogiques. Nous avons déjà mentionné que les essais de lixiviation TCLP étaient réalisés avec une solution non représentative des eaux de drainage minier et que les essais sur des matériaux de standards certifiés indiquaient une très faible reproductivité des teneurs en métaux. Pour les critères des métaux à risques, la problématique vient que la valeur pour chaque métal du critère générique A des sols est basée sur une teneur moyenne pour l'ensemble des lithologies d'une province géologique (ex. province géologique du Supérieur). Selon nous, une teneur moyenne basée sur les lithologies reconnues dans le secteur du gisement serait beaucoup plus représentative pour l'utilisation du critère de métaux à risque. Sans nécessairement représenter une problématique, les valeurs du paramètre PA qui sont utilisées pour les calculs de PNN et les ratios RPN sont obtenues pour le moment que par une simple équation qui tient uniquement compte de la concentration en S_{total} . En fait, il existe très peu de méthode et/ou d'essai en laboratoire qui permettent d'obtenir directement une seconde évaluation de ce paramètre (M. Villeneuve, communication personnelle, 16 mars 2018). Pour les résultats de PN et PA obtenus des essais statiques minéralogiques, certaines

équations exigent de connaître des valeurs de coefficients (ex. réactivité relative) qui sont très peu documentés dans la littérature.

Les effets d'échelle sont considérés parmi les défis importants de l'intégration de l'approche géoenvironnementale à la caractérisation environnementale. Ces effets consistent à extrapoler et projeter dans le temps à une halde de roches stériles exposée aux conditions naturelles de terrain les résultats obtenus des essais géochimiques statiques et cinétiques réalisés dans un environnement contrôlé en laboratoire. En fait, la problématique des effets d'échelles réside à transposer sur le terrain les taux d'oxydation des sulfures, les délais avant la génération de drainage minier acide ou de drainage neutre contaminé et les taux de lixiviation des métaux lourds obtenus en laboratoire lors d'essais en cellules humides ou d'altération ainsi que les essais en colonnes. Bien que de nombreux travaux ont porté sur le sujet (Bornhorst & Logsdon, 2016, Hanna & Lappako, 2009, Plante *et al.*, 2014; Sappford, Bowel, Day, & Williams, 2009; Strömberg & Banward, 1999), il n'existe actuellement aucune technique ou modèle permettant de convertir et de prédire les résultats de laboratoire à ceux qui seront obtenus sur le terrain (Sappford *et al.*, 2009). Les problèmes d'effets d'échelles et de transposition de résultats peuvent être associés plusieurs facteurs qui affecteront les taux de lixiviation des métaux.

Une des limites du modèle géoenvironnemental concerne la caractérisation et la gestion éventuelle d'unité géologique de dimension restreinte. Certaines unités lithologiques de petites dimensions, dont des dykes d'épaisseur métriques, sont souvent reconnues et spatialement associées au gisement. Bien que ces unités doivent être incluses dans la caractérisation environnementale, leur faible dimension implique qu'elles ne pourront généralement être isolées et extraites séparément des autres unités lithologiques pour des raisons opérationnelles.

CHAPITRE 5 CONCLUSION ET PERSPECTIVES

5.1 Conclusions

Les études environnementales réalisées par les sociétés minières sont généralement réalisées lorsque le développement du projet minier atteint la phase de préfaisabilité ou de faisabilité. À ces étapes, il devient essentiel pour l'entreprise de définir et d'évaluer les différents paramètres économiques d'un gisement incluant les analyses de risques environnementaux. Dans l'optique de réaliser la caractérisation environnementale, les professionnels des divers départements du projet minier doivent procéder à la collecte de nouveaux échantillons qui seront soumis à de nombreuses analyses chimiques et minéralogiques ainsi qu'à des essais statiques et cinétiques en laboratoire. Les objectifs de ces travaux sont d'évaluer les différentes problématiques environnementales susceptibles d'affecter l'écosystème local au gisement et si les caractéristiques géologiques du dépôt répondent aux normes environnementales provinciales et canadiennes. Cependant, la sélection des échantillons ne suit pas nécessairement un protocole et une approche systématiques et est souvent réalisée selon l'évaluation des problématiques environnementales anticipées pour chaque typologie de gisement.

Le protocole de caractérisation géoenvironnemental présenté dans ce projet de recherche est basé sur les concepts utilisés en géométallurgie et comprend quatre phases de travaux correspondant à chacune des étapes de développement d'un projet minier. Ces travaux incluent la compilation et l'acquisition de données géologiques, minéralogiques, géochimiques et environnementales. La première phase du protocole de caractérisation géoenvironnemental requiert la compilation des données issues des travaux d'exploration incluant des données géochimiques et les descriptions minéralogiques d'échantillons. Bien que ces données et descriptions géochimiques et minéralogiques ont été initialement acquises dans un objectif d'exploration et de découverte d'un gisement, nombreuses d'entre elles peuvent être utilisées pour obtenir une évaluation préliminaire des risques environnementaux. Les données géochimiques sont utilisées pour établir une classification des différentes lithologies encaissantes de la minéralisation, de caractériser les principaux faciès minéralogiques d'altération hydrothermale et de connaître les teneurs en métaux qui pourraient représenter un risque pour l'environnement. Les analyses en S_{total} et C_{total} ainsi que l'observation des différents types et textures de minéraux sulfurés permettent d'obtenir, dès le début du projet, une estimation des risques de génération d'un drainage minier acide ou neutre. La

synthèse de ces données mène à sélectionner un certain nombre d'échantillons qui sont considérés représentatifs des paramètres géochimiques et minéralogiques de chacune des lithologies et qui seront soumis aux travaux recommandés pour la seconde phase du protocole.

La compilation des données provenant des travaux d'exploration réalisés entre 1986 et 2016 sur le projet Akasaba Ouest a mené à la discrimination de 9 unités lithogéochimiques. Ces lithologies se présentent sous formes massives à fortement recoupées par la schistosité. Les paragenèses minéralogiques des unités mafiques (basaltes andésitiques, ferro titanifères et andésites) sont composées d'amphibole, d'albite, d'épidote, chlorite, calcite et de magnétite. Les métaux dont les teneurs peuvent représenter un risque environnemental sont le Ba, Mo, Cr, Co, Ni et Mn. Les paragenèses des unités de compositions intermédiaires (andésites alcalines) et dacitiques (dacite intrusions dacitiques et QFP) sont composées de quartz, albite, séricite, chlorite, épidote \pm calcite. Les métaux ayant des teneurs à risque sont le Cu, Ba et Mo. La minéralisation se compose de < 5% de pyrite et de chalcopryrite automorphe à xénomorphe de 2 μ m à 2 mm. Les sulfures sont sous forme disséminée dans la roche ou sont observés le long des plans de schistosité. Pour les données de la phase exploration, la proportion de sulfures, les morphologies et typologies de sulfures ainsi que les analyses en S_{total} et C_{total} suggèrent que les lithologies mafiques possèdent un potentiel préliminaire allant de nul à incertain de générer un DMA. Les lithologies intermédiaires et dacitiques présentent cependant un potentiel variant de nul à certains de DMA.

La seconde phase du protocole de caractérisation géoenvironnementale est suggérée lorsque le projet atteint la phase de mise en valeur et requiert les analyses et les essais qui permettent de répondre aux exigences des agences gouvernementales, dont la Directive 019. Les résultats obtenus aideront également à obtenir une première estimation des coûts reliés à la restauration du site minier et à la protection de l'environnement. Les travaux inclus lors de cette phase consistent à réaliser des essais de lixiviation de courtes durées et des essais statiques chimiques et minéralogiques sur les échantillons représentatifs et sélectionnés à la fin de la phase exploration. Les résultats obtenus pour le projet Akasaba Ouest indiquent que le Cu serait lixiviable pour toutes les lithologies, à l'exception des échantillons de basaltes ferro titanifères. Les résultats des essais statiques de type Acisol indiquent un potentiel très faible à possible de générer un DMA pour les basaltes andésitiques ainsi que pour les lithologies dacitiques. Ce potentiel varie de très faible à incertain pour les andésites alcalines de l'unité 5B. Plus de 64 % des échantillons de toutes les lithologies, à l'exception des basaltes ferro titanifères (50 %) sont caractérisés par des concentrations en $S_{\text{total}} <$

0,3 %. À ce stade de développement du projet, ces résultats, incluant les calculs de PNN et RPN, suggèrent que les résidus des lithologies mafiques sont à faibles risques, mais certains sont lixiviables pour le Cu. Les résidus des lithologies intermédiaires et dacitiques sont également lixiviables pour le Cu et très localement pour le Zn. Entre 30 % et 36 % des échantillons des lithologies intermédiaires et dacitiques représentent également un résidu de type acidogène. Une seconde sélection plus restrictive d'échantillons et incluant, pour chacune des lithologies, les paramètres déterminés à la seconde phase est réalisée pour passer aux travaux recommandés à la phase trois du protocole.

La troisième phase du protocole intervient au stade de préfaisabilité du projet. Les travaux proposés lors de cette phase ont pour objectifs de préciser et de caractériser la nature, la source et l'intensité des problématiques environnementales du gisement. Ces travaux consistent à réaliser des essais cinétique en laboratoire. Des études de minéralogie détaillée seront par la suite réalisées afin d'interpréter les résultats obtenus lors de ces essais. Dans le cas du projet Akasaba Ouest, le potentiel de génération acide est très faible à incertain pour les échantillons basaltes andésitiques soumis aux essais cinétiques en mini-cellules d'altération alors qu'il est classé comme certain pour l'échantillon de composition intermédiaire d'andésite alcaline (unité 5B). Les échantillons d'intrusions dacitiques et QFP ainsi que l'échantillon d'andésite alcaline (unité 4B) associée à la zone de minerai sont considérés comme possédant un potentiel de génération acide très faible à nul. Seuls les échantillons de dacites et tufs dacitiques de la zone de minerai possèdent un potentiel probable de génération acide. L'échantillon d'andésite alcaline (unité 4B) a présenté de lixiviation en Cu supérieure au critère du RESIE pour le cuivre lors de ces essais. Les résultats des analyses indiquent également une lixiviation du Mn pour les échantillons de basaltes andésitiques et d'andésites alcalines (unité 5B). Une très faible lixiviation du Mn peut également être observée pour les autres lithologies. Les travaux détaillés de minéralogie quantitative indiquent que la calcite serait la source possible du manganèse.

La dernière étape du protocole de caractérisation géoenvironnementale est recommandée au stade de l'étude de faisabilité. Cette étape consiste dans un premier temps à synthétiser l'ensemble des paramètres géologiques, minéralogiques, géochimiques et environnementaux recueillis pour chacune des lithologies aux différentes phases du projet minier. Des corrélations et des regroupements seront par la suite réalisés entre ces paramètres pour mener à la génération de domaines géoenvironnementaux. Ces domaines seront par la suite inclus dans un modèle

géoenvironnemental 3D représenté dans l'espace et qui pourra être jumelé au modèle géologique du gisement.

Trois domaines géoenvironnementaux ont été définis pour le gisement Akasaba Ouest. Le premier domaine nommé «Domaine mafique» est localisé au nord de la zone minéralisée et comprend majoritairement les stériles ainsi qu'une faible partie du minerai des lithologies de basaltes andésitiques et basaltes ferro titanifères (sous domaine mafique) ainsi que d'andésites (sous domaine andésitique). Ces lithologies sont caractérisées par un risque très faible à incertain de génération de DMA, mais représentent un risque de lixiviation du manganèse. Les lithologies associées aux andésites alcalines (unité 5B) représentent majoritairement une autre portion des stériles miniers et constituent le «Domaine intermédiaire» localisé dans le secteur sud de la fosse ainsi que dans l'extension ouest du domaine mafique. Bien que dans l'ensemble, elles représentent un risque très faible voire quasi nul de génération d'un DMA, certaines lithologies associées à un horizon de tuf dacitique minéralisé sont caractérisées par un risque possible de génération acide. Le troisième domaine nommé «Domaine dacitique» est situé au centre de la fosse. Ce domaine est subdivisé en sous-domaine dacite minerai (unités 4A et 5A) et andésites alcalines minerai (unité 4B) et inclus en grande partie le minerai et les lithologies proximales et encaissantes de la zone minéralisée. Bien que ces dernières unités représentent un risque important de génération d'un DMA, trois lentilles spécifiques de lithologies du domaine dacitique sont caractérisées par un risque nul à très faible de génération d'acide. Elles sont localisées au sud de la fosse et sont intercalées entre les lithologies du domaine intermédiaire.

La division de l'ensemble des lithologies du gisement Akasaba Ouest en domaines géoenvironnementaux favorisera la gestion des risques environnementaux spécifiques à chacun. Bien que les lithologies du Domaine mafique soient caractérisées par un risque très faible à incertain de génération d'un DMA, elles peuvent représenter un risque non négligeable de lixiviation du Mn. Les résultats obtenus lors de nos travaux nous amènent à proposer d'entreposer les stériles de ce domaine dans une halde indépendante en surface. Une grande proportion des lithologies du domaine intermédiaire représente un risque quasi nul de génération d'un DMA. Cependant, horizon de tuf dacitique minéralisé de l'unité 5B et qui est associé à ce domaine est caractérisé par un risque possible de génération acide. Les caractéristiques et la distribution spatiale des lithologies du domaine intermédiaire nous amènent à proposer d'entreposer celles dont le risque environnemental est nul dans une seconde halde en surface. Les stériles potentiellement

générateurs d'acide de l'unité 5B seront entreposés dans une troisième halde pour en assurer la gestion à long terme. Les lithologies du Domaine dacitique représentent les principales unités encaissantes du minerai. Bien que ces dernières représentent un risque important de génération d'un DMA, aucun plan de gestion n'est prévu pour les unités du domaine dacitique puisque les résidus seront entreposés dans un parc à résidus situé à 25 km du site d'Akasaba Ouest. Cependant, trois lentilles spécifiques de lithologies du domaine dacitique sont caractérisées par un risque très faible à faible de génération d'acide. Ces dernières pourront être entreposées avec celles du domaine intermédiaire dans la seconde sur le site Akasaba Ouest.

5.2 Perspectives

Le protocole de caractérisation géoenvironnementale présenté dans ce projet de recherche a été élaboré pour réaliser des travaux d'évaluation des risques environnementaux aux quatre principales phases d'un projet minier précédent l'aménagement du complexe. Même si cette phase n'a pas été abordée dans le cadre du projet, il sera possible de poursuivre et d'intégrer dans le protocole les études de caractérisation environnementale réalisées lors de la phase de développement et d'opération de la mine. Des essais utilisant des cellules de terrain permettent de raffiner l'évaluation des caractéristiques, des paramètres et des risques environnementaux lors de ces phases en réalisant des essais avec des échantillons de stériles dont la granulométrie sera similaire à celle obtenue lors des travaux de dynamitage et d'excavation. De plus, ces essais seront également réalisés sous des conditions climatiques (température, précipitations, etc.) qui sont différentes de celles rencontrées en laboratoire permettant d'obtenir des résultats conformes aux conditions d'entreposage des stériles en surface.

La synthèse et les corrélations entre les différentes caractéristiques géologiques, géochimiques, minéralogiques et environnementales ont conduit à la formation de domaines géoenvironnementaux qui sont non seulement caractéristiques et associés à une future opération minière, mais qui seront éventuellement représentatifs à d'une typologie de gisements. Dans le cadre d'un projet minier, chaque domaine et/ou sous-domaine géoenvironnemental est caractérisé par un type et un degré de risque environnemental susceptible de survenir lorsque les lithologies de stériles et de minerai sont entreposées en surface dans une halde ou un parc à résidus. L'intégration des domaines et sous-domaines dans un modèle géoenvironnemental 3D du gisement

permettra mieux évaluer et représenter la distribution spatiale des différents niveaux et types de risques environnementaux associés au projet minier.

L'un des objectifs de la mise en application du protocole de caractérisation géoenvironnementale est de guider et optimiser la gestion des stériles miniers à long terme. Cette optimisation sera assurée par une meilleure connaissance des sources et causes des risques environnementaux du gisement permettant ainsi réduire les coûts de la gestion des stériles. L'obtention de l'ensemble des paramètres et données utilisés dans le protocole pour identifier les différents risques nécessite d'établir des interactions et discussions efficaces entre les professionnels et les techniciens des différents départements associés au projet minier.

L'intégration du modèle géoenvironnemental à celui du modèle géologique d'exploitation de la mine permettra d'optimiser les coûts d'exploitation et de gestion des résidus miniers à long terme. De plus, l'identification des risques dès les premières phases d'exploration d'un gisement mènera les divers départements d'un projet minier à développer une approche prédictive et proactive de recherche de solutions de contrôle et d'atténuation des problèmes environnementaux. Cette démarche aidera l'entreprise à soutenir son image de responsabilité corporative et pourrait faciliter les discussions et les interactions avec les différents gouvernements et les citoyens concernés par le projet, et ce dans une démarche d'acceptabilité sociale.

Le projet Akasaba Ouest est un gisement Au \pm Cu de type sulfures disséminés et encaissés dans des unités lithologiques composées de volcanites, volcanoclastites et d'intrusions. Cependant, le protocole a été élaboré avec une approche et une méthodologie qui ne tient pas nécessairement pour compte d'un modèle reconnu de gisement. Bien que certaines modifications puissent être apportées, le protocole peut être utilisé pour des gisements associés à d'autres modèles métallogéniques et métaux (Au, Cu, Zn, Pb, U, Ag, REE etc.).

L'une des dernières perspectives porte sur l'intégration conjointe du protocole de caractérisation géoenvironnemental à d'autres disciplines en lien avec le développement du projet minier. À titre d'exemples, le protocole pourrait être jumelé à la modélisation de la gestion des opérations minières pour en améliorer l'efficacité. De plus, des paramètres d'évaluations financières des risques environnementaux peuvent être ajoutés au protocole à chacune des phases de développement du projet. Les résultats obtenus seraient utilisés pour optimiser le nombre

d'échantillons ainsi que les types et les coûts des études de caractérisation environnementale nécessaire à chaque phase. D'autres paramètres économiques pourront être intégrés au modèle économique du gisement pour définir les coûts de la protection de l'environnement et de la restauration du site ainsi que les coûts pour les risques sociaux, politiques et environnementaux.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, K., Kourtis, A., Gazea, B. et Kontopoulos, A., (1997). Evaluation of static tests used to predict the potential for acid drainage generation at sulfide mine sites. *Trans. Instn.Min.Metall. sect.A:min.industry*. 106: A1- A8.
- Agence canadienne d'évaluation environnementale, (2016). Loi canadienne sur l'évaluation environnementale (2012). Tirée de <http://www.ceaa.gc.ca/default.asp?lang=Fr&n=16254939-1>
- Agnico Eagle (2016). Site internet. <http://www.agnicoeagle.com/fr/Exploration/Northern-Exploration/Pages/Canada.aspx>)
- Amira (2002). ARD Test Handbook. Prediction and Kinetic Controls of acid Mine Drainage. Ian Wark Research Institute and Environmental Geochemistry International Pty Ltd.
- Aubertin, M., Bussière, B. et Bernier, L., (2002). *Environnement et gestion des rejets miniers*. Vol. Manuel sur cédérom. Presses Internationales. Polytechnique.
- Barrett, T.J. et MacLean, W.H., (1994). Chemostratigraphy and hydrothermal alteration in exploration for VHMS deposits in greenstones and younger volcanic rocks. Dans: D.R. Lentz (Édit), *Alteration and Alteration Processes associated with Ore-forming Systems*. Geological Association of Canada, Short Course Notes, Volume 11, (p. 433-467). St-John, Newfoundland, Canada.
- Baumgartner, R. (2012). *Geometallurgy: Optimising the resource* [Présentation PowerPoint]. Tiré de http://mineral.cuso.ch/fileadmin/mineral/document/Geometallurgy_partI.pdf
- Beaulieu, M., (2016). *Guide d'intervention - Protection des sols et réhabilitation des terrains contaminés*. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Québec. 210 p.
- Bensalah, N., Ferrand, D. et Villeneuve, C. (2015). Les mines et le développement durable : controverses et défis. *CIM Journal*, 6(4), 189 – 207.
- Benzaazoua, M., Bussière, B., Dagenais, A.M. et Archambault, M (2004). Kinetic test comparison and interpretation for prediction of the Joutel tailings acid generation potential. *Environmental Geology*, 46, 1086-1101.

- Berry, L.G., Mason, B., et Dietrich., R.V. (1983). *Mineralogy* (2^{ème} éd.). San Francisco, USA. W.H. Freeman and Co.
- Birkeland, P.W. (1974). *Petrology, Weathering and Geomorphological Research*. Oxford University Press.
- Blanchette, D., Cloutier, V., Lefebvre, R et Clark, I. (2011). Hydrochemical characterisation of groundwater to understand the flow dynamics of the Saint-Mathieu/Berry Esker, Abitibi, Québec. Conference: *Geohydro 2011, Joint IAH-CNC, CANQUA and AHQ conference*, Québec, Canada.
- Bornhorst, T. J. et Logsdon, M. J. (2016). Predicting Future Water-Quality Impacts from Mining: A 52-Year-Old Field Analog for Humidity Cell Testing, Copperwood Deposit, Michigan. *Economic Geology*, 111, 527-542.
- Bouzaahzah, H. (2013). *Modifications et améliorations des tests statiques et cinétiques pour une prédiction fiable du drainage minier acide*. (Thèse de Doctorat, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Québec).
- Brough, C. P., Warrender, R., Bowel, R. J., Barnes, A. et Parbhakar-Fox, A. (2013). The process mineralogy of mine waste. *Minerals Engineering*, 52, 125-135.
- Brough, C., Strongman, J., Bowell, R., Warrender, R., Prestia, A., Barnes, A. et Fletcher, J. (2016). *Automated environmental mineralogy; the use of liberation analysis in humidity cell testwork*. Communication présentée à Sustainable Minerals 16. Falmouth, U.K., 23 -24 Juin 2016.
- Bussière B., Aubertin, M., Zagury, G.J., Potvin, R. et Benzaazoua, M. (2005). *Principaux défis et pistes de solution pour la restauration des aires d'entreposage de rejets miniers abandonnées*. Communication présentée à Symposium sur l'environnement et les mines, Rouyn-Noranda, 11-15 mai 2005, Canadian Institute of Mining and Petroleum, Canada, 29p.
- Bye, A.R, (2011). *Case Studies Demonstrating Value from Geometallurgy Initiatives*. Communication présentée à The First AUSIMM International Geometallurgy Conference. Brisbane, Australia, (p. 9–30).

- Caroll, D. (1970). *Rock Weathering*. U.S. Geologic Survey. New-York, London. Plenum Press.
- CEAEQ (2012a). *Détermination du pouvoir neutralisant, du potentiel de génération d'acide et du potentiel acidogène d'un solide, MA. 110 – ACISOL 1.0, Rév. 3*. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec.
- CEAEQ (2012b). *Protocole de lixiviation pour les espèces inorganiques, MA. 100 – Lix.com.1.1, Rév. 1*. Québec, Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs du Québec.
- CEAEQ (2013). *Détermination du carbone et du soufre : méthode par combustion et dosage par spectrophotométrie infrarouge. MA.310-CS 1.0 Rév. 3*. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec.
- CEAEQ, (2014a). *Détermination des métaux: méthode par spectrométrie de masse à source ionisante au plasma d'argon. MA. 200 – Mét 1.2, Rév. 5*. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec.
- CEAEQ, (2014b). *Détermination de l'alcalinité et de l'acidité : méthode titrimétrique automatisée, MA. 315 – Alc-Aci 1.0, Rév. 2*. Québec : Ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques du Québec.
- Choquette, M. et Gélinas, P. (1994). Mineralogical Transformations Associated with AMD Production in a Waste Rock Dump, La Mine Doyon – South West Rock Dump. MEND Report 1.14.2f (not release).
- Chopard, A. (2017). *Évaluation environnementale de minerais sulfurés polymétalliques basée sur une approche minéralogique pluridisciplinaire*. (Thèse de Doctorat, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, Rouyn-Noranda, Québec).
- Chopard, A., Benzaazoua, M., Plante, B., Bouzahzah, H. et Marion, P. (2015). *Kinetic tests to evaluate the relative oxidation rates of various sulfides and sulfosalts*. Communication présentée à Proceeding 10th ICARD IMWA 2015, Santiago, Chile.

- Coasted Research inc. (2008). *Acid Rock Drainage Manuel*. (MEND Report 1.16.1b). British Columbia: MEND, Canmet - MSL Division, Department of Energy Mines and Resources Canada.
- Cox, K.G., Bell, J.D. et Pankhurst, R.J. (1979). *The Interpretation of Igneous Rocks*. London: Allen and Unwin.
- Cross, W., Iddings, J.P., Pirsson, L.V. et Washington, H.S. (1903). A quantitative chemico-mineralogical classification and nomenclature of igneous rocks. *Journal of Geology*, 10, 555-690.
- Cruz, R., Méndez, B.A., Monroy, M., et Gonzalez, I. (2001). Cyclic voltammetry applied to evaluate reactivity in sulfide mining residues. *Applied Geochemistry*, 16, 1631-1640.
- Datamine (2018). Open Pit Planning. Tiré de <http://www.dataminesoftware.com/software/open-pit-planning-software/>
- Deer, W.A., Howie, R.A. et Zussman, J. (1992). *An Introduction to the Rock Forming Minerals* (2^{ème} éd.). Hong Kong. Longman Group Ltd.
- Delago Vega, J. M. (2012). *Apport des modèles géo-métallurgiques et de la catégorisation des ressources à la définition de la fosse ultime d'une mine à ciel ouvert. Application à la mine de cuivre de Mantos de la Luna au Chili*. (Thèse de Doctorat, École nationale supérieure des mines de Paris, Paris, France).
- Dold, B. & Weibel, B. (2013). Biogeometallurgical pre-mining characterization of ore deposits: an approach to increase sustainability in the mining process. *Environmental Sciences and Pollution Research*, 20, 7777-7786.
- Drever, J.I. (1988). *The Geochemistry of Natural Waters*. Englewood Cliffs, New Jersey. Prentice Hall.
- Dyanty, N., Becker, M., Broadhurst, J.L., Harisson, S.T.L. et Franzidis, J.P., (2013). *Use of Mineralogy to Interpret Laboratory-Scale Acid Rock Drainage Prediction Tests – A Gold Case Study*. Communication présentée à World Gold Conference, Brisbane, QLD (p. 519-525).

- Éthier, M.P. (2011). *Évaluation du comportement géochimique en conditions normale et froides de différents stériles présents sur le site de la mine Raglan*. (Mémoire de Maîtrise, Université de Montréal, Montréal, Qc).
- Environnement Québec (1999). *Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés*. Sainte-Foy, Qc : Les Publications du Québec.
- EPA (1992). EPA METHOD 1311, *Toxicity Characteristic Leaching Procedure*, SW-846: Test Methods for Evaluating Solid Waste - *Physical/Chemical Methods*. Washington, D.C : US Environmental Protection Agency (EPA).
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/1311.pdf>
- EPA (1994). EPA METHOD 1312, *Synthetic Precipitation Leaching Procedure*, SW-846: Test Methods for Evaluating Solid Wastes – *Physical/Chemical Methods*. Washington, D.C : Environmental Protection Agency (EPA).
<https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/1312.pdf>.
- Eriksson, N., Gupta, A., et Destouni, G. (1997). Comparative analysis of laboratory and field tracer tests for investigating preferential flow and transport in mining waste rock. *Journal of Hydrology*, 194, 143–163.
- Fallara, F., Legault, M et Rabeau, O. (2006). 3-D Integrated Geological Modelling in the Abitibi Subprovince (Québec, Canada) : Techniques and Applications. *Exploration and Mining Geology*, 15(1-2), 27-42.
- Fragomeni, D., Boyd, L.J., Charland, A., Kormos, L.J., Lotter, N.O. et Potts, G., (2005). The use of end-members for grind-recovery modelling, tonnage prediction and flowsheet development at Raglan. Dans: *Proc. Canadian Mineral Processors*, Paper No. 6 (p. 75–98), Ottawa.
- Géologica (2012). *NI 43-101 Technical Report on the Akasaba Property*. Val d’Or, Qc.
- GeoMet (2015). *Geometallurgy*. Consulté le 2 mars sur <http://www.geomettech.com/what-we-do>.
- Golder et Associés (2015). *Caractérisation géochimique, statique et cinétique du minerai, des roches stériles et des résidus et modélisation de la qualité de l’eau de la fosse ennoyée, projet Akasaba Ouest*. (Rapport 1203-REP-03), Val-d’Or, Qc.

Gouvernement du Québec, (2002). *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction*. Québec : Ministère de l'environnement du Québec.

Hageman, P.L. (2007). U.S. *Geological Survey field leach test for assessing water reactivity and leaching potential of mine wastes, soils, and other geologic and environmental materials* (U.S. Geological Survey Techniques and Methods book 5, chap. D3).

Hanna, B. et Lappako, K. (2009). *Waste Rock Sulfate Release Rates at a Former Taconite Mine, Laboratory and Field-Scale Studies*. Communication présentée à 9th International Conference on Acid Rock Drainage (ICARD). Ottawa, Canada.

Tiré de :
https://researchgate.net/publication/283710494_Waste_Rock_Sulfate_Release_Rates_at_a_Former_Taconite_Mine,_Laboratory_and_Field-Scale_Studies.pdf

Harris, J.R. (2006). Preface. Dans J.R. Harris Geological Association of Canada, Special Publication 44 (Edit.). *GIS for Earth Science* (p. vii-xv). St-John, Newfoundland, Canada.

Holmes, P. et Crundwell, F. (2000). The kinetics of the oxidation of pyrite by ferric ions and dissolved oxygen: an electrochemical study. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 64(2), 263-274.

Ishikawa, Y., Sawaguchi, T., Iwaya, S. et Horiuchi, M. (1976). Delineation of prospecting targets for Kuroko deposits based on modes of volcanism of underlying dacite and alteration halos. *Mining Geology*, 26, 105-117.

Jambor, J.L., Dutrizac, J.E., Raudsepp, M. et al. (2003). Effect of Peroxide on Neutralization-Potential Values of Siderite and Other Carbonate Minerals. *Journal of Environmental Quality*, 32, 2373–2378

Jambor, J.L., Dutrizac, J.E., Raudsepp, M. et al. (2007). Measure and computed neutralization potentials from static test of diverse rock types. *Environnemental Geology*, 52, 1019-1031.

Jenner, G.A., (1996). Trace element geochemistry of igneous rocks: geochemical nomenclature and analytical geochemistry. Dans: D.A. Wyman (Édit), *Trace Element Geochemistry of Volcanics Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration* (p. 51 - 77). Geological Association of Canada, Short Course Notes, Volume 12,. St-John, Newfoundland, Canada.

- Kerrich, R. & Wyman, D.A., (1996). *The trace element systematics of igneous rocks in mineral exploration: an overview*. Dans: D.A. Wyman (Édit), *Trace Element Geochemistry of Volcanics Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration* (p. 1 - 50). Geological Association of Canada, Short Course Notes, Volume 12,. St-John, Newfoundland, Canada.
- Kleinman, R.L.P., Crerar, D.A. et Pacelli, R.R. (1981). Biogeochemistry of acid mine drainage and a method to control acid formation. *Mining Engineering*, 81, 300 - 304.
- Kwong, Y.T.J. (1993). Prediction and prevention of acid rock drainage from a geological and mineralogical perspective. *MEND Report 1.32.1*. Ottawa, Ontario (NHRI Contribution CS-92054).
- Lamberg., P. (2011). *Particles – The bridge between geology and metallurgy*. [Document PDF]. Tiré de https://pure.ltu.se/portal/files/32756151/Particles_The_Bridge_Between_Geology_and_Metallurgy.pdf
- Lamothe, D. et Harris, J.R. (2005). *L'intégration des données SIG comme outils d'exploration. Exemple de l'évaluation du potentiel en SMV de l'Abitibi*. Document PDF consulté le 23 septembre 2017 sur : https://www.mern.gouv.qc.ca/publications/mines/publications/s7_05_lamothe.pdf
- Large, R.R., Gemmel, J.B. et Paulick, H. (2001). The Alteration Box Plot: A simple Approach to Understanding the Relationship between Alteration Mineralogy and Lithochemistry Associated with Volcanic-Hosted Massive Sulfide Deposits. *Economic Geology*, 96, 954-971.
- Lawrence, R.W. et Wang, Y. (1996). *Determination of neutralizing potential for acid rock drainage prediction. MEND/NEDEM report 1.16.3*. Ottawa, Ontario.
- Lawrence, R.W., et Scheske, M. (1997). A method to calculate the neutralization potential of mining wastes. *Environmental Geology*, 32(2), 100-106.
- Lefebvre, R., Hockley, D., Smolensky, J. et Gélinas, P. (2001). Multiphase transfer processes in waste rock piles producing acid mine drainage 1: Conceptual model and system characterization. *Journal of Contaminant Hydrology*, 52, 137-164.

- Lefebvre, R., Hockley, D., Smolensky, J. et Lamontagne, A. (2001). Multiphase transfer processes in waste rock piles producing acid mine drainage 2. Applications of numerical simulation. *Journal of Contaminant Hydrology*, 52, 165-186.
- LégisQuébec (2016). *Règlement sur l'évaluation et l'examen des impacts sur l'environnement - Loi sur la qualité de l'environnement*. Consulté le 30 juin sur <http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2023/>
- LégisQuébec (2017). *Règlement sur les matières dangereuses*.
<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/ShowDoc/cr/Q-2,%20r.%2032>
- Leshner, C.M., Gibson, H.L. et Campbell, I.H., (1986). Composition-volume changes during hydrothermal alteration of andesite at Buttercup Hill, Noranda District, Quebec. *Geochemica et Cosmochemica Acta*, 50, 2693-2705.
- Lotter, N.O. (2011). Modern Process Mineralogy: An integrated multi-disciplined approach to flowsheeting. *Minerals Engineering*, 24, 1229–1237.
- Lowson, R. T. (1982). Aqueous oxidation of pyrite by molecular oxygen. *Chemical Reviews*, 82(5), 461-497.
- Lund, C. & Lambert, P. (2014). Geometallurgy – A tool for a better resource efficiency. *European Geologist*, 37, 39-43.
- MacLean, W.H. (1990). Mass change calculations in altered rock series. *Mineralium Deposita*, 25, 44-49.
- Malmstrom, M.E., Destouni, G., Banwart, S.A., Strongberg, B.H.E. (2000). Resolving the scale-dependance of mineral weathering rate. *Environmental Science and Technologies*, 34(7), 1375 – 1378.
- McKibben, M. A., & Barnes, H. L. (1986). Oxidation of pyrite in low temperature acidic solutions: Rate laws and surface textures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 50(7), 1509-1520.
- McGaughey, J. (2006). *The Common Earth Model: A Revolution in Mineral Exploration Data Integration*. Dans J.R. Harris Geological Association of Canada, Special Publication 44 (Edit.). *GIS for Earth Science* (p.567-576). St-John, Newfoundland, Canada.

- McKeown, R., Barbour, L., Rowlett, D. & Herasymuik, G. (2000). *Charactérisation of the Grain Size Distribution for Waste Rock from Metal Mines. A Review of Existing Data and an Evaluation of the Implications for Hydrogeologic Behavior*. Dans: Proceedings of the 28th Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineers, London, Ontario.
- McLaren, W.A. (1986). *Modelling of Flow Through of Mine Waste Dump*. Dans: Proceedings of the International Symposium of Flow-Through Rock Drains. British Columbia Technical and Research Committee on Reclamation, Cranbrook, British Columbia.
- Miller, S.D., Jeffery, J.J. et Wong, J.W.C., (1991). *Use and misuse of the acid base account for "AMD" prediction*. Dans: Proceeding of the Second International Conference on the Abatement of Acidic Drainage. Montréal, Canada.
- Monecke, T., Köhler, S., Kleeberg, R., Herzig, P.M., et Gemmell, J. B. (2001). Quantitative phase-analysis by the Rietveld method using X-Ray powder-diffraction data: Application to the study of alteration halos associated with volcanic-rock-hosted massive sulphide deposits. *Canadian Mineralogist*, 39(6), 1617 - 1633.
- Moore, E. (2014). Reverse Engineering. *CIM Magazine*, Vol. 9(7). Tiré de <http://www.cim.org/en/Publications-and-Technical-Resources/Publications/CIM-magazine/2014/October/cover-story/Reverse-engineering.aspx>.
- Morin, K. A. et Hutt, N. M. (1997). *Environmental Geochemistry of Minesite Drainage*. Practical Theory and Case Studies. MDAG Publishing, Surrey, British Columbia.
- Paktunc, A. D. (1999a). Characterization of mine wastes for prediction of acid mine drainage. Dans J.M. Azcue (Dir.), *Environmental impacts of mining activities* (p. 19-40). New York Springer-Verlag.
- Paktunc, A.D. (1999b). Mineralogical constraints on the determination of neutralization potential and prediction of acid mine drainage. *Environmental Geology* 39(2), 103 - 112.
- Paktunc, A. D. (1999c). Discussion of ``A Method to calculate the neutralization potential of mining wastes`` by Lawrence and Scheske. *Environmental Geology* 38, 82 – 84.
- Parbhakar-Fox, A. K., Edraki, M., Bradshaw, D., et Walters, S. (2011). Development of a textural index for the prediction of acid rock drainage. *Minerals Engineering*, 24, 1277-1287.

- Parbhakar-Fox, A., Lottermoser, B., et Bradshaw, D. (2013a). Evaluating waste rock mineralogy and microtexture during kinetic testing for improved acid rock drainage prediction. *Minerals Engineering*, 52, 111-124.
- Parbhakar-Fox, A., Lottermoser, B., et Bradshaw, D. (2013b). *Cost-Effective Means for Identifying Acid-Rock Drainage Risks – Integration of Geochemistry, Mineralogy and Texture Approach and Geometallurgical Techniques*. Proceeding of the Second AUSIMM International Geometallurgy Conference, Brisbane, QLD.
- Piché, M. et Jébrak, M. (2004). Normatives minerals and alteration indices developed for mineral exploration: *Journal of Geochemical Exploration*, 82, 59-77.
- Plante, B., Benzaazoua, M., Bussière, B., Biesinger, M.C. et Pratt, A.R., (2010). Study of Ni sorption onto Tio mine waste rock surfaces. *Applied Geochemistry*, 25, 1830-1844.
- Plante, B., Benzaazoua, M. et Bussière, B. (2011). Kinetic testing and sorption studies by modified weathering cells to characterize the potential to generate contaminated neutral drainage. *Mine Water Environment*, 30, 22-37.
- Plante, B., Bussière, B., et Benzaazoua, M. (2012). Static tests response on 5 Canadian hard rock mine tailings with low net acid-generating potentials. *Journal of Geochemical Exploration*, 114, 57-69.
- Plante, B., Bussière, B., et Benzaazoua, M. (2014). Lab to field scale effects on contaminated drainage predictions from the Tio Mine waste rocks. *Journal of Geochemical exploration*, 137, 37-47.
- Plumlee, G.S. & Nash, J.T. (1995). *Geoenvironmental models of mineral deposits – fundamentals and applications* (Open-File Report 95-831), US Geological Survey.
- Price, W.A. 1989. *Factors affecting vegetation establishment at the Kitsault minesite*. (Ph. D. Thesis, Department of Soil sciences, University of British Columbia, Vancouver, B.C).
- Price, W.A., Morin, K. & Hutt, N. (1997). Guidelines for the prediction of acid rock drainage and metal leaching for mines in British Columbia: Part II. Recommended procedures for static and kinetic testing. Dans *Fourth International Conference on Acid Rock Drainage, Proceedings Volume 1* (p.15-30). Vancouver, B.C., Canada.

- Price, W.A. (2009). *Prediction Manual For Drainage Chemistry From Sulphidic Geologic Materials. MEND Report 1.20.1*. British Columbia, MEND.
- Quantitative Group, (2011), Geometallurgy – optimising resource value. Dans 3 day short course, Santiago, Chile.
- Québec BAPE, (2017). *Projet d'ouverture et d'exploitation de la mine Akasaba Ouest à Val-d'Or. Rapport d'enquête et d'audience publique*. (Rapport 333), Québec, Qc.
- Québec MDDEP, (2012). *Directive 019 sur l'industrie minière*. MDDEP, Québec, Québec : Gouvernement du Québec. 95 p.
- Québec MDDELCC, (2016). Québec, Québec. Tiré de http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/sol/terrains/politique/annexe_2_grille_eaux.htm
- Québec MDDELCC, (2016b). *Guide de valorisation des matières résiduelles inorganiques non dangereuses de source industrielle comme matériau de construction* (Document PDF). Consulté le 26 juillet 2016 sur http://www.mddelcc.gouv.qc.ca/matieres/mat_res/inorganique/matiere-residuelle-inorganique.pdf
- Québec MERN (2015). *Le processus de développement minéral* (Document PDF). Consulté le 15 juillet 2016 sur : <https://mern.gouv.qc.ca/publications/mines/processus-developpement-mineral.pdf>
- Ritcey, G.M. (1989). Tailings management-Problems and solutions in the mining industries. Elsevier sciences. 970 p.
- Sapford, D. J, Bowel, R. J., Dey, M. et Williams, K. P. (2009). Humidity cell tests for the prediction of acid rock drainage. *Minerals Engineering*, 22, 25–36
- Scott, C.R., Mueller, W.U. et Pilote, P. (2002). Physical volcanology, stratigraphy, and lithogeochemistry of an Archean volcanic arc: evolution from plume-related volcanism to arc rifting of SE Abitibi Greenstone Belt, Val d'Or, Canada. *Precambrian Research*, 115, 223 - 260.
- Seal, R. R. II et Hammarstrom, J. M. (2003). Geoenvironmental models of mineral deposits: examples from massive sulfide and gold deposits. Dans Jambor, J.L., Blowes, D.W. et

- Ritchie, A.I.M. (Edit.), *Environmental aspects of Mine Wastes, Short Course Series Volume 31*, (p.11 - 50). Ottawa, Canada.
- SGS Canada, (2014). *An Investigation into: The Mineralogical Characteristics of two metallurgical samples from the Akasaba Copper-Gold Deposit, Quebec, Canada* (Project 14602-002, Final Report). Lakefield, Ont.
- SGS (2016). *Geometallurgy framework*. Tiré de http://www.sgs.com/en/SearchResults.aspx?N=4294967127&Ntk=SI_EN-US_Global&Ntt=Geometallurgy&lb=&dc=http
- Skousen, J., Renton, J., Brown, H., Evans, P., Leavitt, B., Brady, K., Cohen, L. et Ziemkiewick, P. (1997). Neutralization potential of overburden samples containing siderite. *Journal of Environmental Quality*, 26, 673 – 681.
- Sobek, A.A., Schuller, W.A., Freeman, J.R. et Smith, R.M. (1978). *Field and laboratory methods applicable to overburdens and mine soils*. Norme EPA-600/2-78-054. Washington, D.C. U.S. Gov. Print. Office.
- Sverdrup, H. (1990). *The kinetics of base cation release due to chemical weathering*. Lund, Sweden, Lund University Press.
- Strömberg, B. et Banward, S. (1999). Weathering kinetics of waste rock from the Aitik copper mine, Sweden: scale dependent rate factors and pH controls in large column experiments. *Journal of Contaminant Hydrology*, 39, 59–89
- Telford, W.M., Geldart, L.P., Sheriff, R.E. et Keys, D.A. (1976). *Applied Geophysics*. Cambridge, U.K., Cambridge University Press.
- Tessier, A., Campbell, P.G.C et Bisson, M. (1979). Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals. *Analytical Chemistry*, 51, 844-851.
- Trépanier, S., Mathieu, L. et Daigneault, R. (2015). CONSONORM_LG: New Normative Minerals and Alteration Indexes for Low-Grade Metamorphic Rocks. *Economic Geology*, 110, 2127-2138.

- Villeneuve, M. (2004). *Évaluation du comportement géochimique à long terme de rejets miniers à faible potentiel de génération d'acide à l'aide d'essais cinétiques*. (Mémoire de Maîtrise, École Polytechnique de Montréal, Montréal, Qc).
- Weisener, C.G. et Weber, P.A. (2010). Preferential oxidation of pyrite as a function of morphology and relict texture. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 53(2-3), 167-176.
- Winchester, J.A. et Floyd, P.A., (1977). Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical Geology*, 20, 325-343.
- WSP Canada (2014). *Projet Akasaba Ouest. Description et avis de projet*. (Rapport Projet N°. 141-14776-00). Montréal, Québec.
- WSP Canada (2015). *Projet Akasaba Ouest Étude d'impact environnementale et sociale (ÉIES) Résumé*. (Rapport N°. 1203-REP-001A). Montréal, Québec.

ANNEXE A – RÉSULTATS DES ANALYSES LITHOGÉOCHIMIQUES

Tableau A.1 : Basaltes andésitiques (unité 1)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-004	AKA14-ENV-015	307855,5	5324369,8	3295,3	48,00	51,00	Stérile	48,20	0,86	14,60
164-14-004	AKA14-ENV-021	307848,8	5324415,1	3251,4	111,00	114,00	Stérile	54,60	0,91	12,70
164-14-004	AKA14-ENV-011	307858,9	5324344,2	3320,9	12,00	15,00	Minerai	47,50	0,74	14,20
164-14-004	AKA14-ENV-013	307857,7	5324354,0	3310,9	26,00	29,00	Minerai	47,50	0,83	15,10
164-14-004	AKA14-ENV-012	307858,2	5324350,5	3314,5	21,00	24,00	Minerai	50,00	0,84	15,00
164-14-004	CAEXD270976	307858,5	5324347,7	3317,3	18,50	18,70		48,23	0,76	13,25
164-14-005	CAEXD270983	307809,6	5324338,0	3318,3	15,30	15,50	Stérile	44,42	0,70	13,55
164-14-005	CAEXD270984	307808,7	5324353,1	3302,6	37,10	37,40		47,50	0,71	14,72
164-14-007	CAEXD270993	307807,3	5324338,9	3242,8	130,30	130,50		48,91	0,94	16,50
164-14-007	CAEXD270995	307801,7	5324366,6	3218,9	167,20	167,40		50,98	1,00	15,95
164-14-011	CAEXD271984	307762,8	5324302,7	3205,8	161,30	161,50		48,45	0,82	14,74
164-14-011	CAEXD271989	307754,6	5324354,9	3148,8	239,00	239,20		48,09	0,81	14,70
164-14-012	CAEXD272982	307545,8	5324370,1	3136,6	273,00	273,20		44,20	0,82	15,35
164-14-013	CAEXD273478	307702,2	5324361,9	3184,3	193,90	194,10		46,64	0,85	14,79
164-14-014	CAEXD272992	307597,8	5324361,6	3148,3	228,90	229,10		50,43	0,89	15,54
164-14-015	CAEXD273489	307655,1	5324353,1	3104,8	283,10	283,30		47,79	0,89	15,30
164-14-019	CAEXD273459	307648,7	5324357,4	3073,5	345,70	346,00		46,72	0,80	14,59
164-14-020	CAEXD275977	307578,5	5324360,5	3093,0	326,00	326,20		46,60	0,74	13,30
164-14-021	AKA14-ENV-059	n.d.	n.d.	n.d.	111,00	114,00	Stérile	50,00	0,71	14,40
164-14-023	AKA14-ENV-062	307701,6	5324372,8	3279,5	75,00	78,00	Stérile	48,97	0,70	13,25
164-14-025	CAEXD273991	307651,9	5324367,2	3251,0	101,50	101,70		48,20	0,74	13,80
164-14-030	AKA14-ENV-070	n.d.	n.d.	n.d.	9,00	12,00	Stérile	47,50	0,71	14,72

Tableau A.2 : Basaltes ferro-titanifères (unité 2)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-023	AKA14-ENV-061	307703,1	5324362,9	3287,4	63,00	66,00	Stérile	48,40	2,11	12,70
164-14-009	AKA14-ENV-041	307757,3	5324353,9	3271,9	81,00	84,00	Stérile	49,40	2,10	12,70
164-14-009	CAEXD270999	307756,9	5324356,9	3269,2	86,10	86,30		51,70	2,38	12,87
164-14-011	CAEXD271988	307757,7	5324336,1	3169,0	211,30	211,50		49,20	2,23	13,13
164-14-022	CAEXD273750	307715,3	5324297,7	3179,4	203,10	203,30		51,13	2,18	13,58
164-14-027	CAEXD275982	307856,0	5324343,9	3278,2	77,60	77,80		47,37	2,25	12,89

Tableau A.3 : Andésites (unité 3)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-004	AKA14-ENV-018	307852,0	5324393,6	3272,1	81,00	84,00	Stérile	63,80	0,43	15,10
164-14-004	CAEXD270979	307852,4	5324391,0	3274,5	79,10	79,30		47,97	0,47	18,39
164-14-004	AKA14-ENV-022	307848,1	5324419,4	3247,3	117,00	120,00	Stérile	65,80	0,39	13,20
164-14-004	AKA14-ENV-016	307854,3	5324378,3	3286,9	60,00	63,00	Stérile	56,60	0,42	18,50
164-14-004	AKA14-ENV-020	307849,9	5324407,6	3258,7	102,00	105,00	Stérile	57,60	0,42	17,50
164-14-004	AKA14-ENV-017	307853,3	5324384,5	3280,9	69,00	72,00	Stérile	56,80	0,49	18,80
164-14-004	AKA14-ENV-019	307851,4	5324397,9	3267,9	87,00	90,00	Stérile	60,40	0,40	15,90
164-14-004	CAEXD270980	307850,1	5324406,5	3259,7	101,20	101,40		55,64	0,47	17,90
164-14-004	CAEXD270981	307847,7	5324421,6	3245,3	121,20	121,40		68,84	0,36	15,09
164-14-004	CAEXD270978	307854,4	5324377,5	3287,7	60,50	60,70		55,99	0,45	18,45
164-14-005	CAEXD270986	307806,2	5324385,0	3269,9	81,10	81,30		55,38	0,47	18,32
164-14-005	CAEXD270987	307805,8	5324389,6	3265,2	89,70	89,90		49,68	0,58	19,77
164-14-009	AKA14-ENV-044	307754,6	5324378,3	3250,9	113,00	116,00	Stérile	56,50	0,45	18,90
164-14-009	AKA14-ENV-043	307755,5	5324370,3	3257,7	102,00	105,00	Stérile	58,20	0,41	18,60
164-14-009	AKA14-ENV-045	307754,0	5324383,9	3246,0	120,00	123,00	Stérile	57,50	0,43	19,40
164-14-009	CAEXD271000	307755,0	5324375,1	3253,6	110,20	110,40		56,71	0,47	18,95
164-14-009	AKA14-ENV-042	307756,5	5324360,7	3266,0	90,00	93,00	Stérile	55,30	0,45	17,60
164-14-009	CAEXD271976	307753,7	5324386,2	3244,1	124,60	124,80		54,39	0,54	19,63
164-14-017	CAEXD273742				159,00	159,20		62,83	0,32	13,37
164-14-018	CAEXD273737				375,50	375,70		58,05	0,48	16,83
164-14-018	CAEXD273735				357,80	358,00		58,53	0,44	17,60
164-14-018	CAEXD273736	307581,4	5324372,5	3038,7	369,70	369,90		55,61	0,50	18,97
164-14-023	AKA14-ENV-063	307700,4	5324382,1	3272,1	87,00	90,00	Stérile	56,10	0,45	19,60
164-14-027	CAEXD275983	307851,6	5324375,8	3251,3	119,20	119,40	Stérile	55,11	0,48	18,31

Tableau A.4 : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-13-001	AKA14-ENV-004				57,0	60,0	Minerai	63,40	0,41	15,40
164-14-004	AKA14-ENV-014	307856,4	5324363,2	3301,8	39,0	42,0	Minerai	61,30	0,32	12,40
164-14-004	CAEXD270977	307856,04	5324365,99	3298,99	44,20	44,60	Minerai			
164-14-005	CAEXD270988									
164-14-006	AKA14-ENV-023	307502,8	5324342,1	3300,7	36,0	39,0	Minerai	62,90	0,63	16,10
164-14-006	AKA14-ENV-024	307501,0	5324350,2	3292,0	48,0	51,0	Minerai	63,57	0,45	16,36
164-14-006	CAEXD272476	307501,8	5324346,9	3295,6	44,5	44,7		61,50	0,60	16,60
164-14-006	AKA14-ENV-025	307499,6	5324356,9	3285,0	57,0	60,0	Minerai	62,30	0,89	17,70
164-14-006	AKA14-ENV-030	307820,7	5324261,7	3311,5	24,0	27,0	Stérile	63,41	0,48	16,05
164-14-007	CAEXD270996	307800,5	5324372,0	3214,3	174,3	174,5		61,70	0,49	16,51
164-14-007	CAEXD270992				97,3	97,5		67,40	0,56	15,60
164-14-008	AKA14-ENV-034	307511,6	5324292,4	3296,1	43,0	46,0	Minerai	64,40	0,61	16,50
164-14-008	AKA14-ENV-036	307508,7	5324308,5	3280,0	66,0	69,0	Minerai	63,10	0,56	15,70
164-14-008	AKA14-ENV-037	307506,9	5324319,1	3269,5	81,0	84,0	Minerai	59,44	0,51	16,20
164-14-008	CAEXD272483	307503,1	5324340,8	3248,1	113,1	113,3		60,42	0,54	17,55
164-14-008	CAEXD272484	307501,6	5324349,5	3239,6	122,3	122,5		57,83	0,62	17,17
164-14-008	CAEXD272481	307507,3	5324317,0	3271,6	79,5	79,7		68,00	0,51	15,62
164-14-008	CAEXD272480	307508,5	5324309,9	3278,6	69,1	69,3		60,42	0,58	16,51
164-14-010	CAEXD272493	307508,4	5324309,8	3201,3	184,1	184,3		66,29	0,47	13,83
164-14-010	CAEXD272492	307513,1	5324285,3	3222,9	151,7	151,9		61,45	0,63	16,47
164-14-010	CAEXD272489	307523,4	5324227,8	3277,3	71,4	71,6		65,56	0,41	13,20
164-14-011	CAEXD271987				203,1	203,3		57,68	0,64	18,40
164-14-011	CAEXD271978	307775,4	5324224,1	3297,9	39,7	39,9		64,48	0,50	14,58
164-14-012	CAEXD272978	307560,5	5324294,8	3205,9	169,3	169,5		63,20	0,57	15,30
164-14-012	AKA14-ENV-049	307575,9	5324209,1	3293,8	45,0	48,0	Stérile	64,00	0,57	15,40
164-14-012	AKA14-ENV-050	307575,3	5324213,1	3289,4	51,0	54,0	Stérile	64,15	0,56	14,94
164-14-012	CAEXD272499	307575,7	5324210,7	3291,9	48,7	48,9		57,57	0,46	16,92
164-14-013	CAEXD271995	307711,9	5324297,5	3254,2	98,2	98,4		60,48	0,77	16,95
164-14-013	CAEXD271991				41,5	41,8		67,64	0,54	15,62
164-14-013	CAEXD271996				115,6	115,8		65,57	0,49	14,47
164-14-013	CAEXD273477	307703,2	5324354,7	3191,9	183,4	183,7		65,42	0,42	13,14
164-14-013	CAEXD272000	307705,0	5324341,7	3205,6	164,2	164,4		61,42	0,34	14,03
164-14-014	CAEXD272987				106,3	106,5		61,28	1,00	17,59

Tableau A.4 (suite) - Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-015	CAEXD273482				106,7	106,9		61,67	0,64	15,86
164-14-015	CAEXD273480	307675,9	5324214,2	3282,7	56,1	56,4		58,98	0,50	16,42
164-14-015	CAEXD273487	307659,6	5324322,2	3142,3	234,0	234,2		68,54	0,39	13,20
164-14-016	CAEXD272993				61,1	61,3	Minerai	62,90	0,63	16,10
164-14-017	CAEXD273740				91,5	91,7		70,07	0,38	13,80
164-14-017	CAEXD273741				116,5	116,7		65,87	0,39	13,63
164-14-018	CAEXD273726	307624,0	5324198,4	3258,3	86,6	86,8		60,46	0,59	17,16
164-14-018	CAEXD273733	307598,8	5324307,7	3117,2	266,6	266,8		65,41	0,56	16,05
164-14-018	CAEXD273731	307600,6	5324299,5	3127,2	253,5	253,7		61,67	0,72	16,70
164-14-019	CAEXD273455				170,7	171,0		58,69	0,71	16,92
164-14-019	CAEXD273500				14,6	14,8		59,56	0,59	15,80
164-14-020	CAEXD273998				243,6	243,8		61,09	0,38	15,94
164-14-020	CAEXD273995	307585,7	5324216,3	3237,3	123,0	123,2		62,37	0,58	16,35
164-14-020	CAEXD273997				222,2	222,4		63,91	0,50	15,93
164-14-021	CAEXD275978	307604,1	5324342,8	3273,3	77,1	77,3		53,22	0,70	14,64
164-14-022	CAEXD273747				152,7	152,9		62,85	0,85	17,46
164-14-024	AKA14-ENV-064	307462,1	5324289,5	3306,9	27,0	30,0	Stérile	62,70	0,68	16,80
164-14-024	CAEXD273496	307450,0	5324350,3	3237,7	122,1	122,3		53,74	0,84	16,94
164-14-024	CAEXD273497	307448,8	5324355,9	3231,6	130,0	130,2		58,75	0,45	16,11
164-14-025	CAEXD273988				48,2	48,4		64,63	0,45	15,49
164-14-025	CAEXD273987				41,4	41,6		62,39	0,43	14,08
IAX-12-200	AKA14-ENV-071				12,0	15,0		61,10	0,61	16,10

Tableau A.5 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-13-001	AKA14-ENV-006				112,0	117,0	Minerai			
164-13-001	AKA14-ENV-007				130,0	135,0	Minerai			
164-13-001	AKA14-ENV-010				189,0	192,0	Minerai			
164-13-001	AKA14-ENV-009				162,0	165,0	Minerai			
164-13-001	AKA14-ENV-008				154,0	157,0	Minerai			
164-14-007	AKA14-ENV-032	307818,0	5324279,1	3295,2	48,0	51,0	Stérile			
164-14-007	AKA14-ENV-033	307816,9	5324285,7	3289,2	57,0	60,0	Stérile			
164-14-007	CAEXD270994	307805,3	5324349,4	3233,8	144,4	144,6				
164-14-007	CAEXD270990	307817,1	5324284,6	3290,2	57,8	58,0	Minerai			
164-14-009	AKA14-ENV-038	307761,8	5324319,0	3304,5	33,0	36,0	Minerai			
164-14-009	CAEXD270997	307760,7	5324328,3	3295,5	47,2	47,4				
164-14-009	AKA14-ENV-040	307758,5	5324345,1	3279,9	69,0	72,0	Minerai			
164-14-009	AKA14-ENV-039	307760,0	5324334,1	3290,0	54,0	57,0	Minerai			
164-14-009	CAEXD270998				75,5	75,7				
164-14-011	CAEXD271985	307760,3	5324318,7	3188,1	185,2	185,4				
164-14-011	CAEXD271980	307773,2	5324237,4	3281,7	60,4	60,6				
164-14-012	CAEXD272979	307555,7	5324318,3	3183,3	202,6	202,8				
164-14-013	CAEXD273476	307703,7	5324350,6	3196,1	177,7	177,9				
164-14-013	CAEXD271999	307706,1	5324333,5	3214,4	152,1	152,3				
164-14-013	CAEXD271997	307708,8	5324316,1	3233,4	126,4	126,6				
164-14-014	CAEXD272990	307600,9	5324342,0	3172,5	197,2	197,4				
164-14-014	CAEXD272989	307605,0	5324317,6	3202,7	158,0	158,2				
164-14-014	CAEXD272988	307607,2	5324305,9	3217,4	139,5	139,7				
164-14-015	CAEXD273488	307657,1	5324338,1	3122,9	259,4	259,6				
164-14-015	CAEXD273485	307662,8	5324301,8	3167,8	201,4	201,6				
164-14-015	AKA14-ENV-055	307676,2	5324213,0	3284,5	54,0	57,0	Stérile			
164-14-015	CAEXD273486	307660,8	5324314,8	3151,5	222,2	222,4				
164-14-016	CAEXD272994	307554,9	5324331,0	3271,6	84,1	84,3				
164-14-017	CAEXD273739	307661,8	5324314,7	3282,0	66,8	67,0				
164-14-018	CAEXD273732	307599,7	5324303,9	3121,8	260,2	260,4				
164-14-018	CAEXD273734	307594,5	5324325,9	3095,1	295,5	295,7				
164-14-019	CAEXD273457				298,3	298,6				
164-14-020	CAEXD274000	307580,3	5324340,4	3112,1	298,1	298,3				

Tableau A.5 (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-021	AKA14-ENV-056	307605,8	5324335,2	3281,1	66,0	69,0	Minerai			
164-14-021	AKA14-ENV-058	307600,4	5324360,1	3255,8	102,0	105,0	Minerai			
164-14-021	CAEXD275980	307599,9	5324362,3	3253,6	105,2	105,4				
164-14-022	CAEXD273745	307725,1	5324233,4	3244,5	111,7	111,9				
164-14-022	CAEXD275985	307710,8	5324328,5	3149,8	246,6	246,8				
164-14-024	CAEXD273499				147,4	147,6				
164-14-025	CAEXD273990	307653,6	5324356,2	3263,4	84,5	84,7				
164-14-025	CAEXD273989	307655,0	5324347,0	3274,0	70,6	70,8				
164-14-026	CAEXD273985	307640,2	5324342,9	3158,8	220,5	220,8	Minerai			
164-14-026	CAEXD273986	307640,2	5324346,9	3154,2	226,3	226,5				
164-14-026	CAEXD273983	307640,0	5324324,6	3180,0	192,0	192,2				
164-14-026	CAEXD273981	307639,7	5324310,6	3196,7	170,2	170,4				
164-14-026	CAEXD273982	307639,9	5324318,2	3187,6	182,5	182,8				
164-14-026	CAEXD273984	307640,1	5324338,3	3164,0	213,6	213,9				
IAX-12-202	AKA14-ENV-082				294,0	297,0				
IAX-12-222	AKA14-ENV-085				27,0	30,0				
IAX-12-222	AKA14-ENV-084				15,0	18,0				

Tableau A.6 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-007	AKA14-ENV-031	307819,7	5324268,2	3305,4	33,0	36,0	Stérile	64,80	0,63	17,00
164-14-007	CAEXD270991	307814,7	5324299,2	3277,1	77,2	77,4		63,03	0,56	16,69
164-14-007	CAEXD270992				97,3	97,5		61,70	0,49	16,51
164-14-008	CAEXD272478	307512,1	5324289,6	3298,9	40,4	40,6		66,17	0,60	16,35
164-14-011	CAEXD271986	307759,2	5324326,0	3180,0	196,5	196,7		61,24	0,61	16,66
164-14-011	CAEXD271983	307765,7	5324283,5	3227,3	132,9	133,1		64,30	0,59	17,07
164-14-013	CAEXD271994	307713,6	5324288,4	3264,7	84,3	84,6		65,44	0,60	16,80
164-14-013	CAEXD271993	307715,6	5324277,3	3277,4	67,3	67,5		66,15	0,56	16,18
164-14-022	CAEXD273749	307716,2	5324290,6	3186,4	193,1	193,3		64,15	0,56	16,38
164-14-024	CAEXD273494	307455,7	5324321,9	3269,3	78,2	78,4		64,12	0,54	16,21
164-14-027	AKA14-ENV-066	307865,6	5324297,8	3320,4	12,0	15,0	Stérile	64,10	0,61	17,10
164-14-027	AKA14-ENV-067	307864,5	5324304,1	3314,4	21,0	24,0	Stérile	65,40	0,55	16,20
164-14-027	AKA14-ENV-068	307861,8	5324317,2	3302,0	39,0	42,0	Minerai	63,00	0,61	16,80
164-14-027	AKA14-ENV-069	307859,7	5324325,9	3294,0	51,0	54,0	Minerai	64,50	0,58	16,70
164-14-027	CAEXD275981	307862,1	5324316,1	3303,0	40,2	40,4	Stérile	62,51	0,61	17,04

Tableau A.7 : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-13-001	AKA14-ENV-003				51,00	54,00	Stérile	67,10	0,32	15,50
164-14-006	CAEXD272477	307495,1	5324377,3	3263,6	89,00	89,20		66,96	0,35	16,07
164-14-008	AKA14-ENV-035	307510,2	5324300,1	3288,4	54,00	57,00	Minerai	69,10	0,24	15,10
164-14-010	CAEXD272491	307516,2	5324268,6	3238,4	128,10	128,40		68,06	0,38	16,70
164-14-012	CAEXD272977	307564,3	5324274,2	3226,0	140,10	140,30		66,59	0,32	16,17
164-14-012	CAEXD272500	307573,1	5324226,9	3274,5	70,90	71,10		61,71	0,28	17,58
164-14-013	CAEXD271998	307707,8	5324322,1	3226,8	135,30	135,50		69,87	0,26	12,06
164-14-016	CAEXD272995				100,70	100,90		67,26	0,34	14,65
164-14-016	CAEXD272996	307550,8	5324352,8	3253,2	112,80	113,00		65,39	0,29	15,91
164-14-017	CAEXD273738	307663,2	5324305,4	3290,9	53,40	53,60		65,93	0,34	15,17
164-14-022	CAEXD275988	307703,9	5324377,1	3104,7	312,60	312,80		62,38	0,33	15,88
164-14-024	CAEXD273493	307457,3	5324314,1	3278,3	66,00	66,20		63,24	0,38	16,23
164-14-024	CAEXD273492	307458,8	5324306,4	3287,1	54,20	54,40		61,81	0,27	18,75
164-14-027	CAEXD275984				147,40	147,60		62,07	0,33	15,61
IAX-12-201	AKA14-ENV-079				41,00	44,00		64,70	0,33	16,50
IAX-12-201	AKA14-ENV-078				32,00	35,00	Stérile	61,20	0,35	17,00

Tableau A.8 : Intrusions dacitiques (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Sterile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-13-001	AKA14-ENV-005				96,00	101,00	Minerai	68,10	0,32	16,00
164-14-004	CAEXD270982				128,50	128,70		63,83	0,35	15,97
164-14-005	CAEXD270985				59,30	59,40		56,58	0,42	20,72
164-14-008	CAEXD272482	307506,4	5324321,9	3266,7	86,20	86,40		62,47	0,32	15,55
164-14-010	CAEXD272495	307502,6	5324342,9	3174,6	227,20	227,40		65,78	0,32	14,28
164-14-010	CAEXD272494	307504,7	5324330,5	3184,4	211,00	211,20		66,77	0,31	14,16
164-14-011	CAEXD271982	307769,1	5324263,0	3250,7	101,00	101,20		65,31	0,32	16,67
164-14-012	CAEXD272980				236,40	236,60		69,63	0,29	13,58
164-14-013	CAEXD271992				54,00	54,30		65,29	0,33	16,55
164-14-014	CAEXD272991	307599,6	5324350,3	3162,2	210,90	211,20		64,61	0,27	14,62
164-14-014	CAEXD272985	307615,5	5324264,6	3270,1	71,80	72,00		64,66	0,39	16,10
164-14-014	CAEXD272986	307613,4	5324275,8	3255,6	90,00	90,20		65,34	0,32	16,48
164-14-015	CAEXD273484	307665,3	5324285,9	3188,2	175,30	175,50		67,60	0,33	15,61
164-14-015	CAEXD273483	307666,5	5324276,7	3200,0	160,50	160,80		67,19	0,30	16,08
164-14-015	CAEXD273490	307654,6	5324356,7	3100,4	288,10	288,30		64,17	0,34	16,03
164-14-018	CAEXD273730	307604,2	5324282,7	3147,9	226,10	226,30		65,45	0,38	17,22
164-14-019	CAEXD273458				337,00	337,30		64,14	0,32	16,09
164-14-020	CAEXD273999	307581,7	5324315,3	3136,4	263,20	263,40		64,91	0,36	15,65
164-14-020	CAEXD275976	307579,8	5324346,2	3106,6	306,50	306,70		63,92	0,35	15,34
164-14-020	CAEXD273996	307583,7	5324266,3	3185,0	194,30	194,50		64,73	0,30	15,97
164-14-021	AKA14-ENV-057	307603,4	5324346,3	3269,8	81	84	Minerai	67,20	0,32	15,10
164-14-021	CAEXD275979	307603,5	5324345,6	3270,5	81,10	81,30		66,01	0,32	15,08
164-14-022	CAEXD275987	307708,5	5324343,9	3135,3	268,10	268,30		60,23	0,34	16,44
164-14-022	AKA14-ENV-060	307704,09	5324375,00	3106,62	309,00	312,00		60,70	0,35	15,50
164-14-022	CAEXD273748	307719,2	5324270,8	3206,0	165,40	165,60		66,92	0,30	15,77
164-14-024	CAEXD273495	307453,9	5324331,2	3258,8	92,50	92,70		66,22	0,25	15,98
164-14-026	CAEXD273978	307637,8	5324271,3	3244,5	108,50	108,70		65,12	0,31	16,78
164-14-026	CAEXD273980	307639,2	5324293,1	3217,7	143,40	143,70		60,71	0,31	15,69
164-14-026	CAEXD273979	307638,6	5324282,5	3230,7	126,30	126,50		64,29	0,31	14,91
IAX-12-202	AKA14-ENV-083				306,00	309,00		64,50	0,35	15,70
IAX-12-202	AKA14-ENV-081				285,00	288,00		64,20	0,34	16,00
IAX-12-222	AKA14-ENV-086				33,00	36,00		63,70	0,35	16,00

Tableau A.9 : Andésites alcalines (unité 5B)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-13-001	AKA14-ENV-001				36,00	39,00	Stérile	64,00	0,27	15,60
164-13-001	AKA14-ENV-002	307670,41	5324253,0	3287,46	51,00	54,00		70,20	0,29	15,20
164-14-006	AKA14-ENV-026	307498,0	5324364,0	3277,5	69,00	72,00	Minerai	65,30	0,31	17,20
164-14-006	AKA14-ENV-027	307496,0	5324373,2	3267,8	81,00	84,00	Minerai	65,20	0,28	17,70
164-14-006	AKA14-ENV-028	307494,2	5324381,4	3259,3	93,00	96,00	Minerai	67,10	0,32	16,00
164-14-007	CAEXD270989	307822,4	5324250,9	3321,7	11,60	11,80	Stérile	60,74	0,33	17,80
164-14-007	AKA14-ENV-029	307822,1	5324253,0	3319,7	12,00	15,00	Stérile	65,70	0,28	16,20
164-14-008	CAEXD272479	307509,5	5324304,3	3284,2	61,60	61,80		72,61	0,28	14,85
164-14-008	CAEXD272485	307500,6	5324354,8	3234,4	131,50	131,70		61,05	0,29	17,44
164-14-008	CAEXD272486	307499,4	5324361,7	3227,6	146,80	147,00		65,28	0,28	17,53
164-14-010	CAEXD272487	307529,9	5324187,6	3317,6	13,60	13,80		65,37	0,27	16,85
164-14-010	CAEXD272488	307526,6	5324208,4	3296,4	43,70	43,90		65,68	0,24	17,34
164-14-010	CAEXD272490	307521,0	5324242,0	3263,6	91,10	91,30		66,45	0,19	17,80
164-14-010	CAEXD272496	307499,2	5324362,7	3159,2	252,00	252,20		63,00	0,31	15,68
164-14-010	CAEXD272497	307497,1	5324375,4	3149,4	267,90	268,10		68,62	0,26	15,55
164-14-011	CAEXD271977	307777,6	5324211,0	3314,5	18,00	18,20		62,71	0,23	17,68
164-14-011	CAEXD271979	307774,0	5324232,6	3287,6	53,20	53,40		66,08	0,33	16,79
164-14-011	CAEXD271981	307770,9	5324251,5	3264,4	82,90	83,10		70,99	0,27	14,16
164-14-012	AKA14-ENV-046	307578,9	5324190,4	3314,8	15,00	18,00	Stérile	65,60	0,26	16,90
164-14-012	CAEXD272498	307578,4	5324193,2	3311,6	21,60	21,80		63,54	0,20	19,24
164-14-012	AKA14-ENV-047	307577,6	5324198,1	3306,0	27,00	30,00	Stérile	63,50	0,24	17,70
164-14-012	AKA14-ENV-048	307577,0	5324202,1	3301,6	33,00	36,00	Stérile	64,40	0,24	17,80
164-14-012	CAEXD272976	307569,1	5324249,9	3250,4	105,50	105,70		69,58	0,18	15,49
164-14-012	CAEXD272981	307548,4	5324356,1	3148,7	253,50	253,70		63,61	0,32	19,00
164-14-013	CAEXD271990	307720,7	5324249,1	3310,5	23,60	23,90		62,41	0,33	17,54
164-14-014	CAEXD272983	307622,3	5324229,4	3318,4	12,00	12,20		64,50	0,33	17,78
164-14-014	CAEXD272984	307618,6	5324249,2	3291,2	45,00	45,20		63,67	0,26	17,12
164-14-015	AKA14-ENV-051	307679,8	5324191,4	3314,3	15,00	18,00	Stérile	64,80	0,26	17,40
164-14-015	AKA14-ENV-052	307678,9	5324196,6	3307,0	24,00	27,00	Stérile	64,90	0,22	18,00
164-14-015	AKA14-ENV-053	307677,9	5324202,5	3298,8	33,00	36,00	Stérile	64,10	0,24	17,70
164-14-015	CAEXD273479	307677,6	5324204,1	3296,6	39,40	39,70		63,17	0,27	18,15
164-14-015	AKA14-ENV-054	307676,8	5324208,9	3290,1	45,00	48,00	Stérile	64,30	0,25	17,40
164-14-015	CAEXD273481	307674,1	5324225,7	3267,2	75,00	75,20		63,06	0,31	17,63

Tableau A.9 (suite) - Andésites alcalines (unité 5B)

Sondage	No. Échant.	Estant (m)	Nordant (m)	Élévation (m)	De (m)	À (m)	Stérile/Minerai	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)
164-14-016	CAEXD272997	307549,6	5324359,7	3247,6	121,70	121,90		64,70	0,31	16,69
164-14-018	CAEXD272998	307633,4	5324156,9	3316,4	13,80	14,00		61,87	0,29	15,45
164-14-018	CAEXD272999	307629,3	5324175,4	3290,1	46,30	46,50		64,35	0,21	17,96
164-14-018	CAEXD273000	307625,4	5324192,3	3266,7	74,30	74,50		64,25	0,24	17,44
164-14-018	CAEXD273727	307619,8	5324216,2	3234,3	117,00	117,20		64,19	0,27	17,42
164-14-018	CAEXD273728	307616,3	5324231,3	3214,2	141,10	141,30	Stérile	68,91	0,21	15,61
164-14-018	CAEXD273729	307611,1	5324252,9	3185,9	177,30	177,50		61,34	0,34	19,33
164-14-019	CAEXD273451				43,50	43,70		61,48	0,31	18,17
164-14-019	CAEXD273452				84,00	84,20		64,03	0,21	18,96
164-14-019	CAEXD273453				126,40	126,60		64,25	0,22	17,70
164-14-019	CAEXD273454				146,70	147,00		60,29	0,34	19,22
164-14-019	CAEXD273456				234,50	234,80		66,21	0,30	15,52
164-14-020	CAEXD273993				48,40	48,60		64,87	0,26	17,96
164-14-020	CAEXD273994				97,00	97,20		62,96	0,32	17,68
164-14-022	CAEXD273743	307733,6	5324173,2	3312,9	21,00	21,20		64,41	0,34	16,48
164-14-022	CAEXD273744	307729,7	5324204,5	3275,7	68,80	69,00		67,12	0,24	16,48
164-14-022	CAEXD273746	307724,1	5324239,6	3238,0	120,40	120,60		72,44	0,29	13,60
164-14-022	CAEXD275986				255,60	255,80		70,72	0,29	12,01
164-14-024	AKA14-ENV-065	307461,0	5324295,3	3300,1	36,00	39,00	Stérile	68,70	0,29	16,00
164-14-024	CAEXD273491	307461,1	5324294,7	3300,8	36,60	36,80		67,22	0,32	16,34
164-14-024	CAEXD273498	307447,7	5324360,9	3226,2	136,70	136,90		59,20	0,30	18,62
164-14-026	CAEXD273976	307635,9	5324242,3	3280,8	61,60	61,80		61,76	0,28	17,57
164-14-026	CAEXD273977	307637,1	5324260,0	3258,5	91,00	91,20		65,30	0,43	16,23
IAX-12-200	AKA14-ENV-072				24,00	27,00		64,20	0,30	18,10
IAX-12-200	AKA14-ENV-073				33,00	36,00		66,50	0,33	16,80
IAX-12-200	AKA14-ENV-074				45,00	48,00		63,70	0,30	18,10
IAX-12-200	AKA14-ENV-075				54,00	57,00		65,80	0,29	16,50
IAX-12-201	AKA14-ENV-076				11,00	14,00		64,60	0,24	17,40
IAX-12-201	AKA14-ENV-077				20,00	23,00		61,50	0,26	18,00
IAX-12-201	AKA14-ENV-080				53,00	56,00		64,90	0,31	17,80

Tableau A.1 (suite) Basaltes andésitiques de l'unité 1

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-004	AKA14-ENV-015	9,47	6,74	0,16	16,40	1,66	0,22	0,05	1,86	100,40
164-14-004	AKA14-ENV-021	9,10	4,71	0,12	12,30	1,72	1,16	0,08	2,35	99,80
164-14-004	AKA14-ENV-011	12,80	4,05	0,17	16,60	2,18	0,07	0,06	1,76	100,30
164-14-004	AKA14-ENV-013	11,10	5,26	0,16	16,30	2,14	0,17	0,04	1,74	100,50
164-14-004	AKA14-ENV-012	10,10	5,46	0,13	15,10	2,76	0,14	0,05	1,42	101,20
164-14-004	CAEXD270976	9,70	6,54	0,18	16,21	2,23	0,12	0,05	2,67	100,00
164-14-005	CAEXD270983	13,67	5,28	0,20	13,78	2,04	1,10	0,03	2,50	97,37
164-14-005	CAEXD270984	7,10	1,87	0,16	22,38	0,63	0,34	0,04	10,20	98,33
164-14-007	CAEXD270993	10,32	6,88	0,16	14,89	2,12	0,44	0,03	1,88	99,74
164-14-007	CAEXD270995	7,66	7,41	0,12	12,65	3,08	0,55	0,06	2,40	100,35
164-14-011	CAEXD271984	11,03	8,05	0,08	4,06	2,56	1,11	0,06	4,07	99,04
164-14-011	CAEXD271989	9,74	7,92	0,13	13,79	2,31	0,43	0,05	1,84	100,30
164-14-012	CAEXD272982	9,59	8,40	0,14	12,02	2,70	0,52	0,05	2,94	100,05
164-14-013	CAEXD273478	12,67	5,30	0,13	16,77	0,45	0,62	0,05	2,50	98,95
164-14-014	CAEXD272992	9,46	6,16	0,17	17,18	1,79	0,27	0,05	2,59	100,05
164-14-015	CAEXD273489	7,92	6,63	0,13	11,72	3,55	0,61	0,05	1,93	99,52
164-14-019	CAEXD273459	9,14	5,60	0,16	16,14	2,44	0,12	0,05	2,21	99,93
164-14-020	CAEXD275977	9,56	6,90	0,14	15,74	1,93	0,48	0,05	2,58	99,57
164-14-021	AKA14-ENV-059	10,30	4,93	0,21	18,40	1,67	0,11	0,05	4,44	100,90
164-14-023	AKA14-ENV-062	9,43	7,01	0,14	13,20	2,58	0,41	0,03	2,64	100,60
164-14-025	CAEXD273991	9,70	8,79	0,19	13,87	2,04	0,71	0,03	1,85	100,20
164-14-030	AKA14-ENV-070	10,70	6,93	0,15	16,20	1,52	0,27	0,05	2,20	100,90

Tableau A.2 (suite) : Basaltes ferro-titanifères (unité 2)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-023	AKA14-ENV-061	13,60	4,25	0,15	12,80	3,28	0,43	0,11	2,24	100,20
164-14-009	AKA14-ENV-041	12,10	4,63	0,16	12,60	3,64	0,37	0,12	2,36	100,40
164-14-009	CAEXD270999	10,97	4,73	0,13	11,06	4,14	0,26	0,13	1,09	99,51
164-14-011	CAEXD271988	12,44	4,32	0,15	12,55	3,53	0,15	0,11	2,20	100,10
164-14-022	CAEXD273750	17,72	3,88	0,04	4,05	1,94	2,09	0,15	2,34	99,17
164-14-027	CAEXD275982	15,56	3,77	0,14	12,64	3,64	0,18	0,12	1,27	99,87

Tableau A.3 (suite) : Andésites (unité 3)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-004	AKA14-ENV-018	5,88	2,31	0,03	3,58	1,20	6,19	0,08	1,63	100,30
164-14-004	CAEXD270979	10,08	1,44	0,08	12,54	1,43	4,21	0,08	2,59	99,43
164-14-004	AKA14-ENV-022	5,35	1,41	0,04	6,21	3,14	1,89	0,09	1,95	99,50
164-14-004	AKA14-ENV-016	6,07	2,77	0,05	8,38	3,54	0,82	0,09	2,70	100,00
164-14-004	AKA14-ENV-020	5,74	1,81	0,02	5,60	2,21	7,63	0,07	1,37	100,00
164-14-004	AKA14-ENV-017	5,09	2,83	0,03	8,11	3,11	1,63	0,08	3,69	100,70
164-14-004	AKA14-ENV-019	5,46	2,43	0,03	4,10	0,70	7,45	0,07	2,86	99,80
164-14-004	CAEXD270980	6,37	2,03	0,04	4,68	1,39	9,58	0,08	0,96	99,45
164-14-004	CAEXD270981	2,79	0,79	0,02	3,69	5,59	1,26	0,08	1,30	99,84
164-14-004	CAEXD270978	6,19	2,96	0,06	7,75	3,90	0,63	0,09	2,53	99,02
164-14-005	CAEXD270986	7,95	2,04	0,06	9,53	3,58	0,35	0,08	2,26	100,05
164-14-005	CAEXD270987	10,70	1,18	0,08	11,04	4,44	0,38	0,09	1,43	99,39
164-14-009	AKA14-ENV-044	6,44	3,13	0,06	8,26	2,38	1,40	0,08	2,73	100,40
164-14-009	AKA14-ENV-043	4,45	2,71	0,06	8,68	3,82	0,57	0,08	2,21	99,90
164-14-009	AKA14-ENV-045	5,41	1,98	0,04	7,97	3,41	1,56	0,07	2,39	100,20
164-14-009	CAEXD271000	5,50	3,06	0,05	8,23	2,55	1,07	0,07	2,63	99,32
164-14-009	AKA14-ENV-042	6,07	1,76	0,06	9,63	4,79	0,80	0,07	2,71	99,40
164-14-009	CAEXD271976	4,85	2,00	0,10	11,73	4,35	0,72	0,10	1,65	100,10
164-14-017	CAEXD273742	8,29	0,66	0,08	7,27	2,40	2,42	0,06	1,33	99,11
164-14-018	CAEXD273737	4,97	1,57	0,07	5,85	2,08	8,60	0,09	0,69	99,53
164-14-018	CAEXD273735	5,54	3,24	0,07	7,25	2,87	0,82	0,09	2,54	99,01
164-14-018	CAEXD273736	3,94	1,77	0,09	10,94	3,93	1,20	0,09	2,08	99,17
164-14-023	AKA14-ENV-063	4,10	2,19	0,05	9,58	3,94	1,20	0,07	3,02	100,30
164-14-027	CAEXD275983	6,14	3,05	0,07	9,89	3,31	0,25	0,08	2,26	98,97

Tableau A.4 (suite) - Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-13-001	AKA14-ENV-004	7,94	1,86	<0,01	1,70	2,04	2,55	0,15	3,95	99,50
164-14-004	AKA14-ENV-014	11,70	1,63	0,05	5,65	5,14	0,36	0,06	0,94	99,60
164-14-004	CAEXD270977									
164-14-005	CAEXD270988									
164-14-006	AKA14-ENV-023	5,60	4,03	0,02	4,84	4,06	1,34	0,14	2,76	100,00
164-14-006	AKA14-ENV-024	4,94	3,33	0,03	3,47	4,78	1,27	0,17	2,52	100,20
164-14-006	CAEXD272476	4,11	2,62	0,03	3,57	5,29	1,31	0,16	2,21	99,78
164-14-006	AKA14-ENV-025	4,60	3,30	0,02	2,57	4,03	2,53	0,17	4,06	100,10
164-14-006	AKA14-ENV-030	5,43	2,31	0,01	2,63	3,54	2,22	0,13	2,82	100,10
164-14-007	CAEXD270996	4,29	2,66	0,03	2,29	4,84	3,04	0,21	2,26	99,73
164-14-007	CAEXD270992	3,87	2,75	0,04	3,16	6,20	1,20	0,16	3,29	99,45
164-14-008	AKA14-ENV-034	4,82	2,24	<0,01	0,60	2,84	2,54	0,18	2,78	99,60
164-14-008	AKA14-ENV-036	4,86	2,70	<0,01	0,94	4,80	2,37	0,13	2,44	99,80
164-14-008	AKA14-ENV-037	4,60	2,75	<0,01	2,95	2,93	3,23	0,12	2,81	98,80
164-14-008	CAEXD272483	4,43	3,96	0,03	4,65	4,30	1,48	0,15	3,24	98,48
164-14-008	CAEXD272484	5,23	3,17	0,02	1,76	2,70	4,15	0,14	3,02	98,88
164-14-008	CAEXD272481	6,45	4,24	0,03	3,85	3,70	1,79	0,14	3,37	99,27
164-14-008	CAEXD272480	3,61	2,36	0,01	0,67	5,11	1,99	0,17	1,93	100,00
164-14-010	CAEXD272493	5,13	3,65	0,02	4,10	3,70	1,85	0,11	3,22	99,36
164-14-010	CAEXD272492	4,44	2,32	0,03	2,46	4,07	1,58	0,14	2,76	98,45
164-14-010	CAEXD272489	5,21	3,41	0,03	3,67	3,84	2,58	0,17	1,90	99,47
164-14-011	CAEXD271987	4,20	2,35	0,02	2,55	2,38	3,28	0,18	4,23	98,46
164-14-011	CAEXD271978	5,00	3,92	0,03	2,52	5,36	2,39	0,16	3,97	100,25
164-14-012	CAEXD272978	7,32	2,00	0,01	0,41	1,55	5,00	0,20	2,09	98,26
164-14-012	AKA14-ENV-049	5,18	2,72	0,04	3,15	3,13	2,15	0,14	3,81	99,40
164-14-012	AKA14-ENV-050	5,10	3,00	0,04	2,63	3,88	1,72	0,13	3,72	100,30
164-14-012	CAEXD272499	4,98	2,72	0,05	2,88	3,01	2,17	0,15	3,40	99,13
164-14-013	CAEXD271995	8,79	4,02	0,03	4,22	2,18	2,45	0,12	3,25	100,10
164-14-013	CAEXD271991	7,04	2,57	0,07	4,31	2,83	1,51	0,14	3,28	100,05
164-14-013	CAEXD271996	2,81	1,83	0,01	0,59	4,52	2,83	0,15	1,95	98,57
164-14-013	CAEXD273477	2,62	3,28	0,01	1,47	4,22	2,93	0,16	3,71	99,04
164-14-013	CAEXD272000	7,03	1,28	0,01	0,96	2,27	4,32	0,14	1,95	97,06
164-14-014	CAEXD272987	12,20	1,32	0,01	0,18	0,89	5,40	0,02	2,12	98,14

Tableau A.4 (suite) - Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-015	CAEXD273482	5,53	1,94	0,04	4,34	3,33	1,68	0,13	2,54	99,49
164-14-015	CAEXD273480	6,13	3,36	0,06	2,66	4,59	1,27	0,14	3,39	99,88
164-14-015	CAEXD273487	4,90	2,09	0,04	4,00	2,75	4,64	0,23	3,52	98,30
164-14-016	CAEXD272993	5,09	1,99	0,01	0,31	4,16	2,99	0,12	1,22	98,09
164-14-017	CAEXD273740	3,36	1,43	0,01	0,62	3,43	3,33	0,18	1,60	98,28
164-14-017	CAEXD273741	3,62	2,20	0,02	1,56	2,36	5,98	0,20	2,25	98,24
164-14-018	CAEXD273726	5,98	3,16	0,05	2,56	3,82	2,09	0,15	3,39	99,55
164-14-018	CAEXD273733	5,24	0,72	0,01	0,55	3,36	5,44	0,07	1,58	99,13
164-14-018	CAEXD273731	6,63	1,23	0,01	0,66	2,72	5,94	0,13	1,91	98,44
164-14-019	CAEXD273455	6,98	2,63	0,03	3,77	2,09	2,43	0,14	4,02	98,48
164-14-019	CAEXD273500	6,19	3,27	0,08	2,88	2,36	2,42	0,15	6,07	99,50
164-14-020	CAEXD273998	6,90	2,46	0,02	1,64	3,90	4,18	0,12	2,15	98,85
164-14-020	CAEXD273995	5,62	2,90	0,05	1,99	3,61	2,19	0,14	3,27	99,23
164-14-020	CAEXD273997	6,69	2,16	0,01	0,27	1,51	5,52	0,15	2,53	99,33
164-14-021	CAEXD275978	7,68	4,01	0,06	6,17	2,08	4,05	0,36	5,97	99,09
164-14-022	CAEXD273747	5,37	2,57	0,02	1,67	4,00	1,91	0,14	2,38	99,31
164-14-024	AKA14-ENV-064	6,19	2,76	<0,01	2,20	2,06	2,61	0,13	3,72	100,00
164-14-024	CAEXD273496	7,69	4,98	0,06	5,22	3,24	2,15	0,23	4,24	99,47
164-14-024	CAEXD273497	4,63	2,54	0,05	4,73	5,61	1,44	0,23	5,00	99,70
164-14-025	CAEXD273988	4,94	2,13	0,01	0,52	2,62	5,00	0,19	2,14	98,23
164-14-025	CAEXD273987	4,64	1,82	0,04	4,67	2,62	3,82	0,19	3,69	98,58
IAX-12-200	AKA14-ENV-071	6,09	3,08	0,05	2,97	3,23	2,33	0,15	4,03	99,80

Tableau A.5 (suite) - Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-13-001	AKA14-ENV-006	5,71	1,80	<0,01	0,42	2,80	4,97	0,17	2,43	99,30
164-13-001	AKA14-ENV-007	5,71	2,40	0,03	1,57	4,66	3,23	0,20	2,04	99,80
164-13-001	AKA14-ENV-010	4,75	2,36	0,04	3,32	5,68	2,44	0,21	1,10	99,70
164-13-001	AKA14-ENV-009	4,53	2,36	0,03	3,12	5,15	2,54	0,21	1,81	99,40
164-13-001	AKA14-ENV-008	4,57	2,39	0,03	3,28	5,66	2,56	0,22	1,36	99,80
164-14-007	AKA14-ENV-032	4,90	2,79	<0,01	3,73	3,71	1,49	0,13	2,59	100,40
164-14-007	AKA14-ENV-033	5,08	2,95	0,02	2,89	3,85	1,74	0,10	2,58	100,40
164-14-007	CAEXD270994	3,86	4,33	0,06	6,43	5,75	0,72	0,13	1,46	99,91
164-14-007	CAEXD270990	4,69	3,01	0,03	3,61	4,58	0,91	0,11	2,34	100,25
164-14-009	AKA14-ENV-038	6,45	3,32	<0,01	0,85	3,30	4,10	0,22	2,42	99,40
164-14-009	CAEXD270997	3,54	2,21	0,04	4,44	4,01	5,34	0,08	2,83	98,98
164-14-009	AKA14-ENV-040	4,85	1,04	<0,01	1,41	1,24	2,88	0,11	1,92	99,20
164-14-009	AKA14-ENV-039	4,40	1,66	0,02	2,76	3,64	2,47	0,13	2,46	98,90
164-14-009	CAEXD270998	2,49	0,67	0,03	1,40	0,08	2,55	0,07	1,87	98,92
164-14-011	CAEXD271985	4,38	2,63	0,03	2,29	5,17	3,11	0,20	2,53	99,58
164-14-011	CAEXD271980	4,20	2,60	0,04	5,23	5,23	0,32	0,13	2,66	99,73
164-14-012	CAEXD272979	4,04	2,24	0,03	2,47	4,87	2,88	0,18	2,05	99,75
164-14-013	CAEXD273476	5,20	2,40	0,04	2,98	5,63	3,11	0,20	2,54	99,91
164-14-013	CAEXD271999	4,85	2,61	0,06	3,73	5,28	2,55	0,23	1,86	99,57
164-14-013	CAEXD271997	5,22	2,40	0,01	0,64	4,30	3,85	0,21	1,76	99,67
164-14-014	CAEXD272990	5,23	2,52	0,04	2,86	5,93	2,55	0,22	1,72	99,75
164-14-014	CAEXD272989	4,70	2,49	0,04	2,92	5,29	2,60	0,21	1,20	99,12
164-14-014	CAEXD272988	5,37	2,98	0,02	0,86	4,39	4,72	0,14	1,52	98,92
164-14-015	CAEXD273488	3,21	1,98	0,02	1,55	3,25	5,17	0,17	2,13	98,16
164-14-015	CAEXD273485	6,17	2,51	0,02	0,68	1,36	5,54	0,32	2,22	98,37
164-14-015	AKA14-ENV-055	9,34	9,98	0,10	3,69	2,43	0,91	0,10	5,55	100,30
164-14-015	CAEXD273486	11,70	2,39	0,07	4,89	4,93	3,34	0,19	3,63	100,15
164-14-016	CAEXD272994	4,97	2,63	0,02	1,00	4,30	3,57	0,21	1,65	99,36
164-14-017	CAEXD273739	4,69	2,31	0,02	0,87	3,51	4,24	0,20	2,07	99,36
164-14-018	CAEXD273732	4,25	1,95	0,01	1,03	4,61	3,40	0,14	1,43	98,94
164-14-018	CAEXD273734	3,86	2,13	0,04	2,57	5,12	2,54	0,18	1,86	98,94
164-14-019	CAEXD273457	3,63	1,62	0,01	1,11	2,66	5,27	0,14	2,71	98,10
164-14-020	CAEXD274000	5,11	1,66	0,04	3,97	4,86	2,82	0,17	3,36	98,82

Tableau A.5 (suite) - Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-021	AKA14-ENV-056	4,67	3,37	0,03	2,59	3,79	3,09	0,28	2,24	99,80
164-14-021	AKA14-ENV-058	3,71	1,82	<0,01	3,36	4,39	2,66	0,17	3,23	99,50
164-14-021	CAEXD275980	4,83	2,52	0,04	3,50	6,00	1,64	0,23	3,06	99,97
164-14-022	CAEXD273745	4,07	2,68	0,03	4,59	4,74	0,70	0,14	3,02	99,55
164-14-022	CAEXD275985	4,68	2,59	0,06	3,42	5,66	2,67	0,21	3,10	99,24
164-14-024	CAEXD273499	4,63	2,35	0,04	5,97	4,02	1,30	0,19	4,66	99,78
164-14-025	CAEXD273990	5,19	2,10	0,02	3,00	4,20	3,19	0,18	2,83	99,42
164-14-025	CAEXD273989	4,66	2,21	0,03	2,38	5,02	3,07	0,19	1,41	99,01
164-14-026	CAEXD273985	2,71	2,09	0,02	1,96	6,33	2,41	0,15	2,05	98,85
164-14-026	CAEXD273986	5,76	1,88	0,03	2,53	4,55	2,76	0,17	2,04	99,71
164-14-026	CAEXD273983	5,18	1,78	0,02	2,14	3,95	3,48	0,13	2,23	98,41
164-14-026	CAEXD273981	3,12	1,56	0,01	1,78	3,16	3,39	0,13	2,03	98,08
164-14-026	CAEXD273982	4,56	2,39	0,03	2,99	5,14	2,58	0,21	1,45	99,56
164-14-026	CAEXD273984	4,61	2,26	0,05	3,14	5,88	3,05	0,21	1,79	100,40
IAX-12-202	AKA14-ENV-082	3,86	3,99	0,04	5,40	4,63	1,66	0,14	1,73	100,30
IAX-12-222	AKA14-ENV-085	4,53	4,07	0,05	5,15	4,80	1,33	0,15	1,55	100,10
IAX-12-222	AKA14-ENV-084	4,74	3,88	0,05	5,80	4,07	1,97	0,20	1,47	100,40

Tableau A.6 (suite) - Andésites alcalines (unité 4B)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-007	AKA14-ENV-031	4,40	2,09	<0,01	2,75	5,30	1,10	0,20	2,10	100,40
164-14-007	CAEXD270991	4,74	2,18	0,02	3,44	4,63	1,70	0,18	2,35	99,56
164-14-007	CAEXD270992	3,87	2,75	0,04	3,16	6,20	1,20	0,16	3,29	99,45
164-14-008	CAEXD272478	4,84	2,25	0,02	0,45	3,73	2,44	0,20	2,51	99,62
164-14-011	CAEXD271986	4,71	2,41	0,04	4,60	4,81	1,21	0,19	3,01	99,58
164-14-011	CAEXD271983	4,37	2,53	0,01	1,91	5,84	1,12	0,17	2,07	100,05
164-14-013	CAEXD271994	3,67	2,22	0,01	1,66	4,76	1,85	0,19	2,23	99,49
164-14-013	CAEXD271993	3,80	1,96	0,01	2,60	3,43	2,10	0,17	2,44	99,50
164-14-022	CAEXD273749	3,71	2,28	0,01	1,71	4,49	2,45	0,17	2,71	98,67
164-14-024	CAEXD273494	2,77	1,86	0,01	2,50	4,99	2,78	0,14	2,81	98,83
164-14-027	AKA14-ENV-066	4,65	2,00	<0,01	2,95	3,89	2,21	0,18	2,58	100,30
164-14-027	AKA14-ENV-067	4,60	2,39	<0,01	1,42	4,51	1,87	0,17	2,45	99,60
164-14-027	AKA14-ENV-068	4,49	2,18	0,04	4,16	5,67	0,76	0,21	2,41	100,40
164-14-027	AKA14-ENV-069	3,69	1,69	0,03	3,38	6,54	0,85	0,16	2,14	100,30
164-14-027	CAEXD275981	4,77	2,15	0,05	3,91	5,51	0,88	0,20	2,04	99,74

Tableau A.7 (suite) - Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-13-001	AKA14-ENV-003	5,79	1,71	0,02	1,03	2,01	2,69	0,10	3,59	100,00
164-14-006	CAEXD272477	3,13	1,48	0,03	4,31	3,31	1,79	0,10	2,24	99,85
164-14-008	AKA14-ENV-035	3,48	1,33	<0,01	1,60	4,15	2,13	0,08	2,33	99,60
164-14-010	CAEXD272491	3,51	0,94	0,01	0,93	0,49	4,40	0,39	3,07	98,95
164-14-012	CAEXD272977	4,86	1,86	0,01	0,77	4,03	1,96	0,18	2,58	99,43
164-14-012	CAEXD272500	2,21	1,61	0,02	5,32	4,17	2,13	0,07	4,88	100,05
164-14-013	CAEXD271998	5,68	1,45	0,01	1,66	2,98	3,41	0,13	1,92	99,55
164-14-016	CAEXD272995	2,81	2,34	0,01	2,01	4,19	2,57	0,11	2,15	98,53
164-14-016	CAEXD272996	2,51	1,49	0,02	2,90	3,99	2,64	0,10	3,82	99,13
164-14-017	CAEXD273738	6,42	0,69	0,01	0,32	1,60	5,01	0,12	2,34	98,07
164-14-022	CAEXD275988	3,28	3,84	0,05	5,67	4,88	1,48	0,13	1,57	99,64
164-14-024	CAEXD273493	5,01	3,19	0,02	3,78	3,57	1,81	0,14	2,40	99,89
164-14-024	CAEXD273492	2,60	1,53	0,01	3,72	4,81	2,43	0,07	2,64	98,74
164-14-027	CAEXD275984	4,10	3,86	0,04	5,10	3,27	2,96	0,13	2,10	99,71
IAX-12-201	AKA14-ENV-079	3,26	1,98	0,02	3,91	6,00	0,65	0,10	2,53	100,00
IAX-12-201	AKA14-ENV-078	3,24	1,83	0,03	5,43	4,52	1,88	0,09	4,61	100,20

Tableau A.8 (suite) - Intrusions dacitiques (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-13-001	AKA14-ENV-005	2,75	1,94	<0,01	0,66	4,17	2,98	0,18	2,23	99,30
164-14-004	CAEXD270982	3,77	3,30	0,04	4,62	4,43	1,78	0,14	1,57	99,93
164-14-005	CAEXD270985	2,44	1,44	0,03	8,07	5,91	1,20	0,08	2,46	99,37
164-14-008	CAEXD272482	2,25	2,92	0,02	3,71	3,46	3,99	0,10	4,38	99,26
164-14-010	CAEXD272495	3,09	3,06	0,01	3,18	4,34	1,18	0,13	3,43	98,90
164-14-010	CAEXD272494	2,72	2,84	0,02	3,35	3,80	2,50	0,12	3,07	99,76
164-14-011	CAEXD271982	3,93	2,21	0,01	1,89	5,00	1,18	0,17	2,08	98,92
164-14-012	CAEXD272980	2,98	2,57	0,01	2,43	4,72	0,98	0,12	2,32	99,74
164-14-013	CAEXD271992	4,79	2,17	0,01	2,49	4,71	1,12	0,18	2,51	100,30
164-14-014	CAEXD272991	2,84	2,29	0,02	3,40	3,58	2,80	0,10	4,09	98,76
164-14-014	CAEXD272985	4,24	2,94	0,03	2,54	4,00	0,86	0,14	2,92	98,91
164-14-014	CAEXD272986	4,74	1,70	0,01	0,34	3,58	3,00	0,03	2,72	98,34
164-14-015	CAEXD273484	3,20	2,18	0,01	0,48	3,81	3,56	0,18	2,03	99,11
164-14-015	CAEXD273483	3,41	1,53	0,01	0,79	4,27	2,53	0,14	2,12	98,47
164-14-015	CAEXD273490	3,43	2,37	0,04	3,69	6,51	1,25	0,17	0,92	99,09
164-14-018	CAEXD273730	4,00	1,20	0,01	0,13	0,63	5,87	0,05	3,08	98,20
164-14-019	CAEXD273458	3,57	2,37	0,05	3,81	5,28	1,86	0,17	1,59	99,51
164-14-020	CAEXD273999	2,40	3,31	0,02	1,62	5,03	3,14	0,12	2,27	98,95
164-14-020	CAEXD275976	3,63	3,08	0,02	3,41	4,78	1,75	0,14	3,24	99,81
164-14-020	CAEXD273996	5,60	1,70	0,01	1,18	2,92	2,44	0,16	3,73	98,85
164-14-021	AKA14-ENV-057	2,49	2,05	<0,01	2,13	4,32	3,02	0,14	2,74	99,60
164-14-021	CAEXD275979	3,01	2,32	0,02	2,19	4,13	3,23	0,16	3,00	99,60
164-14-022	CAEXD275987	3,96	3,23	0,06	4,14	6,83	0,81	0,13	3,21	99,42
164-14-022	AKA14-ENV-060	3,67	4,28	0,060	6,40	5,01	0,62	0,13	4,12	100,90
164-14-022	CAEXD273748	3,68	1,95	0,01	0,93	4,26	2,07	0,16	2,16	98,30
164-14-024	CAEXD273495	2,64	1,46	0,02	3,35	5,24	1,42	0,10	1,84	98,66
164-14-026	CAEXD273978	3,82	1,91	0,01	0,78	4,49	2,29	0,18	2,46	98,26
164-14-026	CAEXD273980	9,24	0,61	0,01	0,64	1,74	7,29	0,38	1,68	98,53
164-14-026	CAEXD273979	7,09	2,63	0,01	0,28	1,57	5,04	0,15	2,40	98,80
IAX-12-202	AKA14-ENV-083	3,42	3,02	0,03	5,02	5,10	1,33	0,12	1,33	100,00
IAX-12-202	AKA14-ENV-081	3,54	3,14	0,04	5,10	4,85	1,40	0,13	1,37	100,10
IAX-12-222	AKA14-ENV-086	3,61	3,21	0,04	5,37	4,74	1,48	0,12	1,41	100,10

Tableau A.9 (suite) - Andésites alcalines (unité 5B)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-13-001	AKA14-ENV-001	5,94	1,53	<0,01	1,95	1,80	3,00	0,07	4,86	99,00
164-13-001	AKA14-ENV-002	3,24	1,08	0,005	1,56	4,26	1,43	0,09	2,41	99,80
164-14-006	AKA14-ENV-026	3,05	1,67	0,03	4,18	4,87	1,08	0,08	2,09	99,90
164-14-006	AKA14-ENV-027	2,66	1,43	0,01	4,49	4,78	1,30	0,07	2,42	100,30
164-14-006	AKA14-ENV-028	2,76	1,27	<0,01	4,23	4,21	1,57	0,09	2,38	99,90
164-14-007	CAEXD270989	4,10	1,98	0,03	3,63	4,43	1,90	0,09	3,23	98,31
164-14-007	AKA14-ENV-029	3,68	1,36	0,01	3,34	4,79	1,42	0,08	2,44	99,50
164-14-008	CAEXD272479	1,61	1,24	0,01	0,75	5,55	1,35	0,09	1,25	99,64
164-14-008	CAEXD272485	2,29	1,26	0,03	4,96	4,11	2,79	0,06	5,48	99,82
164-14-008	CAEXD272486	2,92	1,66	0,02	3,60	5,25	1,33	0,08	2,04	100,05
164-14-010	CAEXD272487	2,55	1,22	0,02	3,41	5,60	0,85	0,07	2,77	99,01
164-14-010	CAEXD272488	2,20	0,90	0,02	3,62	6,52	0,72	0,06	2,09	99,44
164-14-010	CAEXD272490	1,79	0,76	0,01	3,31	5,61	1,34	0,05	1,58	98,95
164-14-010	CAEXD272496	3,07	1,66	0,02	4,74	4,76	1,54	0,08	3,92	98,82
164-14-010	CAEXD272497	2,45	1,04	0,02	3,56	4,01	1,94	0,10	2,53	100,15
164-14-011	CAEXD271977	2,46	1,32	0,02	4,37	4,82	2,00	0,05	4,23	99,97
164-14-011	CAEXD271979	3,02	1,43	0,03	3,55	5,51	0,96	0,09	1,91	99,79
164-14-011	CAEXD271981	2,98	0,82	0,01	2,20	2,35	2,46	0,09	2,62	99,02
164-14-012	AKA14-ENV-046	2,61	1,43	<0,01	2,82	6,60	0,90	0,07	2,53	99,30
164-14-012	CAEXD272498	2,46	1,37	0,02	2,34	6,73	0,90	0,05	2,79	99,70
164-14-012	AKA14-ENV-047	2,82	1,28	0,01	4,22	5,04	1,26	0,06	3,25	99,50
164-14-012	AKA14-ENV-048	2,63	1,55	0,01	3,50	6,43	0,76	0,06	2,72	100,10
164-14-012	CAEXD272976	2,28	0,94	0,01	2,48	5,58	0,89	0,07	1,49	99,08
164-14-012	CAEXD272981	3,40	1,61	0,01	2,02	5,11	2,58	0,09	2,08	99,94
164-14-013	CAEXD271990	3,38	1,91	0,03	3,46	5,83	1,14	0,09	3,13	99,31
164-14-014	CAEXD272983	3,20	1,67	0,04	3,98	5,38	0,91	0,08	1,94	99,88
164-14-014	CAEXD272984	3,09	1,54	0,02	4,30	3,06	2,05	0,07	3,73	99,01
164-14-015	AKA14-ENV-051	2,68	1,24	<0,01	3,25	5,50	1,48	0,07	2,66	99,50
164-14-015	AKA14-ENV-052	2,22	1,26	0,02	5,26	4,74	1,04	0,05	2,31	100,00
164-14-015	AKA14-ENV-053	2,91	1,16	0,01	4,22	5,74	0,94	0,06	2,61	99,80
164-14-015	CAEXD273479	2,80	1,53	0,02	3,78	6,10	1,05	0,06	3,02	100,00
164-14-015	AKA14-ENV-054	2,50	1,42	0,01	3,55	5,97	1,21	0,07	3,44	100,10
164-14-015	CAEXD273481	3,57	1,50	0,03	4,14	4,74	1,70	0,08	2,35	99,19

Tableau A.9 (suite) - Andésites alcalines (unité 5B)

Sondage	No. Échant.	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	MnO (%)	CaO (%)	Na ₂ O (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	LOI (%)	Total (%)
164-14-016	CAEXD272997	3,43	1,72	0,02	3,22	5,36	1,21	0,09	2,23	99,07
164-14-018	CAEXD272998	2,85	1,29	0,04	5,77	3,89	1,69	0,08	5,45	98,74
164-14-018	CAEXD272999	2,07	0,89	0,02	3,50	6,31	1,15	0,05	2,62	99,19
164-14-018	CAEXD273000	2,54	1,47	0,02	3,36	5,69	1,14	0,06	2,77	99,05
164-14-018	CAEXD273727	2,99	1,49	0,03	3,94	6,38	0,78	0,08	1,65	99,29
164-14-018	CAEXD273728	2,87	1,00	0,01	2,49	4,27	1,63	0,08	2,45	99,62
164-14-018	CAEXD273729	5,51	2,24	0,02	1,66	2,35	3,30	0,09	3,44	99,71
164-14-019	CAEXD273451	3,25	1,86	0,03	4,14	6,23	0,85	0,08	3,87	100,35
164-14-019	CAEXD273452	2,55	1,35	0,03	3,01	5,57	1,47	0,05	2,75	100,05
164-14-019	CAEXD273453	2,49	1,30	0,02	3,08	6,26	1,19	0,06	2,38	99,02
164-14-019	CAEXD273454	4,13	2,17	0,03	3,42	6,16	1,59	0,10	2,40	99,92
164-14-019	CAEXD273456	5,89	1,97	0,01	0,55	4,83	2,81	0,13	1,53	99,82
164-14-020	CAEXD273993	2,12	1,25	0,02	3,05	6,41	1,27	0,06	2,68	100,05
164-14-020	CAEXD273994	3,19	1,59	0,03	4,26	4,63	1,65	0,09	2,68	99,16
164-14-022	CAEXD273743	3,07	1,54	0,03	3,24	5,59	0,80	0,10	3,59	99,26
164-14-022	CAEXD273744	2,38	1,02	0,01	3,57	5,70	0,68	0,06	2,24	99,56
164-14-022	CAEXD273746	2,69	0,83	0,02	1,72	5,58	0,68	0,08	1,46	99,43
164-14-022	CAEXD275986	3,67	1,23	0,02	1,40	2,71	3,94	0,08	1,88	98,03
164-14-024	AKA14-ENV-065	2,32	1,09	<0,01	2,09	5,66	1,41	0,09	2,21	99,90
164-14-024	CAEXD273491	2,59	0,90	0,01	2,39	5,11	1,96	0,10	2,46	99,49
164-14-024	CAEXD273498	2,90	1,77	0,03	4,42	5,55	1,90	0,07	4,85	99,70
164-14-026	CAEXD273976	3,10	1,42	0,02	4,41	3,66	2,15	0,07	3,75	98,31
164-14-026	CAEXD273977	5,38	2,07	0,02	2,74	2,37	2,02	0,13	2,70	99,47
IAX-12-200	AKA14-ENV-072	3,05	1,71	0,02	4,00	4,84	1,38	0,08	2,26	100,00
IAX-12-200	AKA14-ENV-073	3,21	1,43	0,01	4,42	5,00	0,75	0,08	1,80	100,40
IAX-12-200	AKA14-ENV-074	3,07	1,73	0,03	3,68	5,78	1,18	0,08	2,78	100,40
IAX-12-200	AKA14-ENV-075	3,40	1,34	<0,01	2,61	4,71	1,74	0,09	2,57	99,20
IAX-12-201	AKA14-ENV-076	2,79	1,40	<0,01	3,83	5,29	1,10	0,06	3,21	100,10
IAX-12-201	AKA14-ENV-077	3,44	2,08	0,02	3,36	5,60	1,48	0,05	3,93	99,80
IAX-12-201	AKA14-ENV-080	3,33	1,55	0,02	4,56	5,08	1,12	0,08	1,87	100,60

Tableau A.1 (suite) - Basaltes andésitiques (unité 1)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-004	AKA14-ENV-015	559	28	<5	37	<0.2	149	54	399	1320	6	0.8
164-14-004	AKA14-ENV-021	862	16	<5	27	<0.2	268	35	644	897	<5	0.4
164-14-004	AKA14-ENV-011	910	21	<5	32	<0.2	104	59	351	1348	9	1.8
164-14-004	AKA14-ENV-013	446	23	<5	33	<0.2	98	39	401	1306	7	1.3
164-14-004	AKA14-ENV-012	302	28	<5	31	<0.2	138	39	427	1075	6	1.8
164-14-004	CAEXD270976	88	2	1	41	0,25	83	42	350		2,5	
164-14-005	CAEXD270983	6370	9	1	58	0,7	126	63	360		14	
164-14-005	CAEXD270984	462	26	1	24	0,25	86	21	280		13	
164-14-007	CAEXD270993	882	14	1	45	0,25	100	30	380		2,5	
164-14-007	CAEXD270995	77	6	1	39	0,25	145	33	410		2,5	
164-14-011	CAEXD271984	1915	573	4	58	0,25	132	50	370		2,5	
164-14-011	CAEXD271989	190	15	3	39	0,25	160	36	420		6	
164-14-012	CAEXD272982	320	10	1	32	0,25	152	43	380		2,5	
164-14-013	CAEXD273478	534	59	1	33	0,25	139	30	370		2,5	
164-14-014	CAEXD272992	14	7	1	38	0,25	132	31	380		8	
164-14-015	CAEXD273489	168	35	1	38	0,25	128	35	390		6	
164-14-019	CAEXD273459	288	19	1	39	0,25	105	42	380		2,5	
164-14-020	CAEXD275977	455	75	1	33	0,25	179	40	380		5	
164-14-021	AKA14-ENV-059	83	4	<5	49	<0.2	111	32	366	1715	7	1.8
164-14-023	AKA14-ENV-062	265	8	<5	50	<0.2	108	36	369	1304	<5	0.8
164-14-025	CAEXD273991	67	0,5	1	47	0,6	129	43	390		5	
164-14-030	AKA14-ENV-070	230	11	<5	43	<0.2	286	39	738	1111	5	0.7

Tableau A.2 (suite) - Basaltes ferro-titanifères (unité 2)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-023	AKA14-ENV-061	245	14	<5	33	<0.2	62	45	71	1215	9	1.7
164-14-009	AKA14-ENV-041	514	21	<5	31	<0.2	48	39	77	1202	9	3.3
164-14-009	CAEXD270999	343	6	1	28	0,25	50	32	10		2,5	
164-14-011	CAEXD271988	165	15	1	35	0,5	64	34	40		12	
164-14-022	CAEXD273750	3790	38	3	32	0,25	53	38	40		10	
164-14-027	CAEXD275982	4070	56	1	43	0,7	63	57	40		2,5	

Tableau A.3 (suite) - Andésites (unité 3)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-004	AKA14-ENV-018	217	4	<5	21	<0.2	7	20	43	263	<5	0,2
164-14-004	CAEXD270979	559	9	1	17	0,25	15	40	20		5	
164-14-004	AKA14-ENV-022	926	40	<5	20	<0.2	21	22	92	357	<5	0,3
164-14-004	AKA14-ENV-016	182	11	<5	21	<0.2	9	16	64	443	<5	0,4
164-14-004	AKA14-ENV-020	842	57	<5	12	<0.2	9	22	48	325	<5	0,2
164-14-004	AKA14-ENV-017	60	5	<5	26	<0.2	9	14	45	415	<5	0,3
164-14-004	AKA14-ENV-019	245	10	<5	36	<0.2	7	18	29	376	<5	0,2
164-14-004	CAEXD270980	171	2	1	18	0,25	9	18	10		2,5	
164-14-004	CAEXD270981	295	3	1	10	0,25	5	10	20		2,5	
164-14-004	CAEXD270978	106	1	1	23	0,25	16	15	20		2,5	
164-14-005	CAEXD270986	233	8	1	20	0,25	16	33	20		2,5	
164-14-005	CAEXD270987	84	6	1	19	0,25	8	15	30		2,5	
164-14-009	AKA14-ENV-044	124	19	<5	27	<0.2	231	21	550	492	7	0,3
164-14-009	AKA14-ENV-043	133	13	<5	57	<0.2	271	15	664	458	6	1
164-14-009	AKA14-ENV-045	173	11	<5	23	<0.2	7	16	60	351	<5	0,3
164-14-009	CAEXD271000	78	2	1	19	0,25	8	15	10		8	
164-14-009	AKA14-ENV-042	1283	100	14	41	<0.2	176	26	426	566	11	1,3
164-14-009	CAEXD271976	187	6	1	21	0,25	5	10	30		2,5	
164-14-017	CAEXD273742	1015	42	1	15	0,25	7	29	30		2,5	
164-14-018	CAEXD273737	301	7	1	16	0,25	9	12	20		2,5	
164-14-018	CAEXD273735	115	16	1	19	0,25	12	15	20		2,5	
164-14-018	CAEXD273736	151	3	1	23	0,25	3	9	30		2,5	
164-14-023	AKA14-ENV-063	256	22	<5	27	<0.2	12	12	73	497	<5	0,4
164-14-027	CAEXD275983	128	36	1	21	0,25	14	15	30	263	2,5	0,2

Tableau A.4 (suite) - Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-13-001	AKA14-ENV-004	1933	56	19	78	<0.2	128	38	386	149		
164-14-004	AKA14-ENV-014	769	29	<5	24	<0.2	17	47	69	468		
164-14-004	CAEXD270977											
164-14-005	CAEXD270988											
164-14-006	AKA14-ENV-023	1642	18	7	29	<0.2	64	21	127	336	149	<5
164-14-006	AKA14-ENV-024	104	19	10	43	<0.2	62	20	152	339	468	<5
164-14-006	CAEXD272476	89	0,5	7	26	0,25	41	13	60		336	6
164-14-006	AKA14-ENV-025	127	10	<5	21	<0.2	79	21	200	167	339	6
164-14-006	AKA14-ENV-030	210	23	12	148	<0.2	231	21	562	204		2,5
164-14-007	CAEXD270996	706	1	3	35	0,25	28	13	60		167	<5
164-14-007	CAEXD270992	370	0,5	1	29	0,25	37	17	80		204	<5
164-14-008	AKA14-ENV-034	4320	53	26	43	<0.2	70	18	213	147		5
164-14-008	AKA14-ENV-036	2550	54	8	20	<0.2	41	17	112	139		2,5
164-14-008	AKA14-ENV-037	2671	61	9	23	<0.2	40	18	106	143	147	<5
164-14-008	CAEXD272483	1995	36	10	24	0,25	62	16	130		139	<5
164-14-008	CAEXD272484	101	28	6	35	0,25	76	18	160		143	7
164-14-008	CAEXD272481	2740	78	12	26	0,25	68	24	100			5
164-14-008	CAEXD272480	2290	30	26	16	0,25	32	19	70			5
164-14-010	CAEXD272493	1180	24	8	18	0,25	56	19	80			9
164-14-010	CAEXD272492	994	33	7	47	0,25	62	17	190			5
164-14-010	CAEXD272489	73	1	1	17	0,25	77	22	200			7
164-14-011	CAEXD271987	6340	59	3	31	0,25	38	12	70			6
164-14-011	CAEXD271978	28	1	3	23	0,25	106	24	210			7
164-14-012	CAEXD272978	1905	25	3	41	0,25	42	19	180			6
164-14-012	AKA14-ENV-049	124	7	6	44	<0,2	82	22	213	377		7
164-14-012	AKA14-ENV-050	123	9	6	51	<0,2	83	21	215	391		6
164-14-012	CAEXD272499	97	5	6	52	0,25	70	20	200		377	<5
164-14-013	CAEXD271995	3400	48	4	35	0,25	15	31	10		391	<5
164-14-013	CAEXD271991	781	33	7	23	0,25	64	30	110			6
164-14-013	CAEXD271996	5300	75	5	23	0,25	22	10	20			6
164-14-013	CAEXD273477	3540	78	6	34	0,25	30	9	50			2,5
164-14-013	CAEXD272000	18000	128	3	23	0,25	31	12	80			2,5
164-14-014	CAEXD272987	7360	67	9	33	0,25	33	23	40			2,5

Tableau A.4 (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-015	CAEXD273482	245	18	13	31	0,25	61	18	110			5
164-14-015	CAEXD273480	160	2	4	51	0,25	89	25	220			2,5
164-14-015	CAEXD273487	372	35	4	56	0,25	26	21	50			2,5
164-14-016	CAEXD272993	4420	42	1	30	0,25	30	15	70			5
164-14-017	CAEXD273740	9610	127	1	24	0,25	28	10	80			2,5
164-14-017	CAEXD273741	15500	518	6	23	0,25	29	10	60			2,5
164-14-018	CAEXD273726	132	7	6	57	0,25	91	25	210			2,5
164-14-018	CAEXD273733	5120	100	15	21	0,25	34	19	80			7
164-14-018	CAEXD273731	5380	70	9	15	0,25	43	32	110			11
164-14-019	CAEXD273455	482	19	10	31	0,25	59	26	110			2,5
164-14-019	CAEXD273500	47	1	6	83	0,25	88	24	140			44
164-14-020	CAEXD273998	2270	40	5	21	0,25	40	21	30			2,5
164-14-020	CAEXD273995	191	8	8	57	0,25	86	22	200			2,5
164-14-020	CAEXD273997	3180	68	3	46	0,25	31	40	50			6
164-14-021	CAEXD275978	1410	8	4	55	0,25	35	25	100			5
164-14-022	CAEXD273747	420	161	7	77	0,25	73	10	120			2,5
164-14-024	AKA14-ENV-064	1332	59	10	31	<0.2	195	23.8	449	203	203	<5
164-14-024	CAEXD273496	59	1	8	49	0,25	97	26	110			6
164-14-024	CAEXD273497	1	0,5	6	32	0,25	23	14	30			2,5
164-14-025	CAEXD273988	7150	102	2	27	0,25	32	14	70			2,5
164-14-025	CAEXD273987	1830	7	3	40	0,25	22	14	50			5
IAX-12-200	AKA14-ENV-071	201	9	8	70	<0.2	240	25	541	440	440	<5

Tableau A.5. (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-13-001	AKA14-ENV-006	7990	100	<5	27	<0.2	31	17	100	74	5	2.0
164-13-001	AKA14-ENV-007	1636	17	7	49	<0.2	25	17	82	341	5	1.1
164-13-001	AKA14-ENV-010	272	4	8	39	<0.2	19	11	94	397	7	0.9
164-13-001	AKA14-ENV-009	561	22	9	49	<0.2	23	14	85	321	5	1.1
164-13-001	AKA14-ENV-008	678	6	9	49	<0.2	21	13	86	315	6	1.1
164-14-007	AKA14-ENV-032	325	12	6	39	<0.2	41	20	109	162	<5	1.0
164-14-007	AKA14-ENV-033	538	18	<5	29	<0.2	257	18	698	212	<5	1.0
164-14-007	CAEXD270994	121	2	3	30	0,25	84	14	230		2,5	
164-14-007	CAEXD270990	86	5	1	34	0,25	50	13	90		2,5	
164-14-009	AKA14-ENV-038	6888	169	6	30	<0.2	54	24	141	128	5	1.3
164-14-009	CAEXD270997	416	13	1	17	0,25	9	20	10		2,5	
164-14-009	AKA14-ENV-040	6409	63	<5	22	<0.2	25	10	134	113	<5	1.5
164-14-009	AKA14-ENV-039	1980	65	<5	26	<0.2	23	16	97	234	<5	0.8
164-14-009	CAEXD270998	2890	47	1	11	0,25	14	5	30		2,5	
164-14-011	CAEXD271985	937	16	1	34	0,25	26	12	60		6	
164-14-011	CAEXD271980	59	1	1	17	0,25	45	12	90		2,5	
164-14-012	CAEXD272979	965	1	3	32	0,25	20	9	50		2,5	
164-14-013	CAEXD273476	1230	7	5	34	0,25	23	9	60		2,5	
164-14-013	CAEXD271999	697	1	8	58	0,25	25	14	60		7	
164-14-013	CAEXD271997	977	3	1	22	0,25	26	15	50		5	
164-14-014	CAEXD272990	478	1	5	33	0,25	23	8	50		2,5	
164-14-014	CAEXD272989	376	14	5	38	0,25	25	10	50		8	
164-14-014	CAEXD272988	4350	46	8	25	0,25	53	28	80		7	
164-14-015	CAEXD273488		67	5	23	0,25	27	9	70		2,5	
164-14-015	CAEXD273485	2210	90	3	51	0,25	24	15	50		2,5	
164-14-015	AKA14-ENV-055	92	2	<5	94	<0.2	322	52	571	844	<5	0.3
164-14-015	CAEXD273486	1005	3	5	66	0,25	28	13	50		2,5	
164-14-016	CAEXD272994	3100	2	3	200	0,25	27	10	60		9	
164-14-017	CAEXD273739	3490	7	6	42	0,25	29	11	60		2,5	
164-14-018	CAEXD273732	4480	13	8	16	0,25	27	13	60		2,5	
164-14-018	CAEXD273734	119	2	4	38	0,25	21	9	50		2,5	
164-14-019	CAEXD273457		215	5	20	0,25	30	12	60		5	
164-14-020	CAEXD274000	85	2	3	28	0,25	21	10	50		2,5	

Tableau A.5. (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-021	AKA14-ENV-056	349	6	7	38	<0.2	40	13	138	258	5	0.6
164-14-021	AKA14-ENV-058	440	3	<5	33	<0.2	34	83	115	191	<5	0.4
164-14-021	CAEXD275980	334	2	7	37	0,25	23	10	60		2,5	
164-14-022	CAEXD273745	113	0,5	1	20	0,25	45	12	90		2,5	
164-14-022	CAEXD275985	279	3	5	51	0,25	24	13	60		2,5	
164-14-024	CAEXD273499	52	43	17	54	0,25	29	11	50		5	
164-14-025	CAEXD273990	3580	13	2	31	0,25	23	11	50		2,5	
164-14-025	CAEXD273989	882	0,5	9	38	0,25	21	10	40		5	
164-14-026	CAEXD273985	94	0,5	7	36	0,25	19	7	50		2,5	
164-14-026	CAEXD273986	2310	3	8	31	0,25	22	10	50		2,5	
164-14-026	CAEXD273983	4570	67	3	50	0,25	27	12	70		2,5	
164-14-026	CAEXD273981	3620	17	2	26	0,25	25	9	60		2,5	
164-14-026	CAEXD273982	538	1	6	39	0,25	23	11	50		2,5	
164-14-026	CAEXD273984	239	0,5	4	39	0,25	20	10	50		2,5	
IAX-12-202	AKA14-ENV-082	66	21	<5	31	<0.2	91	15	218	384	<5	0.2
IAX-12-222	AKA14-ENV-085	124	12	<5	45	<0.2	320	20	778	515	<5	0.4
IAX-12-222	AKA14-ENV-084	135	7	<5	39	<0.2	83	17	167	494	<5	0.1

Tableau A.6. (suite) : Andésites alcalines (unité 4B)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-007	AKA14-ENV-031	181	11	8	31	<0.2	18	12	59	178	<5	0,3
164-14-007	CAEXD270991	529	1	1	17	0,25	19	16	20		5	
164-14-007	CAEXD270992	370	0,5	1	29	0,25	37	17	80		2,5	
164-14-008	CAEXD272478	1500	285	12	94	0,25	23	15	20		2,5	
164-14-011	CAEXD271986	228	3	2	26	0,25	22	13	50		8	
164-14-011	CAEXD271983	721	34	1	31	0,25	19	17	30		2,5	
164-14-013	CAEXD271994	873	54	1	46	0,25	22	12	20		5	
164-14-013	CAEXD271993	938	11	4	24	0,25	18	14	20		6	
164-14-022	CAEXD273749	2080	59	2	25	0,25	20	24	30		2,5	
164-14-024	CAEXD273494	330	7	3	16	0,25	23	10	20		2,5	
164-14-027	AKA14-ENV-066	485	4	13	15	<0.2	26	15	58	146	6	2,3
164-14-027	AKA14-ENV-067	3289	107	<5	26	<0.2	191	24	610	131	6	1,9
164-14-027	AKA14-ENV-068	160	3	7	38	<0.2	25	11	60	388	5	1,3
164-14-027	AKA14-ENV-069	230	5	<5	22	<0.2	23	12	63	296	<5	0,6
164-14-027	CAEXD275981	145	0,5	5	28	0,25	20	10	30	178	<5	0,3

Tableau A.7. (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-13-001	AKA14-ENV-003	322	47	13	39	<0.2	187	16	582	178	<5	0,7
164-14-006	CAEXD272477	327	14	4	28	0,25	18	7	30		2,5	
164-14-008	AKA14-ENV-035	1229	29	16	14	1.3	203	13	600	130	<5	0,7
164-14-010	CAEXD272491	124	33	9	15	0,25	29	12	40		2,5	
164-14-012	CAEXD272977	732	20	7	26	0,25	16	11	40		2,5	
164-14-012	CAEXD272500	55	5	3	18	0,25	21	9	30		2,5	
164-14-013	CAEXD271998	4510	19	2	24	0,25	18	12	40		2,5	
164-14-016	CAEXD272995	2260	19	2	33	0,25	37	8	90		5	
164-14-016	CAEXD272996	59	0,5	1	25	0,25	27	10	60		2,5	
164-14-017	CAEXD273738		59	1	19	0,25	25	16	60		2,5	
164-14-022	CAEXD275988	47	7	3	25	0,25	79	13	200		2,5	
164-14-024	CAEXD273493	975	10	12	25	0,25	49	16	110		5	
164-14-024	CAEXD273492	1015	5	7	20	0,25	10	6	10		2,5	
164-14-027	CAEXD275984	41	2	1	23	0,25	65	14	150		2,5	
IAX-12-201	AKA14-ENV-079	98	3	<5	22	<0.2	34	10	92	276	<5	0,5
IAX-12-201	AKA14-ENV-078	232	<2	<5	30	<0.2	34	13	87	281	<5	0,3

Tableau A.9. (suite) - Andésites alcalines (unité 5B)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-13-001	AKA14-ENV-001	445	44	13	11	<0.2	9	10	47	68	<5	0.3
164-13-001	AKA14-ENV-002	388	49	17	12		8	7,8	80	70	2	
164-14-006	AKA14-ENV-026	76	8	<5	22	<0.2	13	10	63	222	<5	0.3
164-14-006	AKA14-ENV-027	167	16	10	39	<0.2	11	8	63	151	<5	0.3
164-14-006	AKA14-ENV-028	187	11	<5	11	<0.2	10	8	62	131	<5	0.2
164-14-007	CAEXD270989	220	8	2	31	0,25	16	10	20		2,5	
164-14-007	AKA14-ENV-029	311	19	6	14	<0.2	225	13	699	225	<5	0.5
164-14-008	CAEXD272479	918	50	9	21	0,25	15	7	20		2,5	
164-14-008	CAEXD272485	34	0,5	1	27	0,25	15	9	20		2,5	
164-14-008	CAEXD272486	120	12	1	14	0,25	15	9	30		2,5	
164-14-010	CAEXD272487	186	5	4	17	0,25	12	11	30		2,5	
164-14-010	CAEXD272488	56	3	1	23	0,25	13	7	20		2,5	
164-14-010	CAEXD272490	141	16	3	7	0,25	5	6	10		2,5	
164-14-010	CAEXD272496	148	4	3	13	0,25	18	10	30		2,5	
164-14-010	CAEXD272497	109	43	2	15	0,25	9	7	10		2,5	
164-14-011	CAEXD271977	47	0,5	3	14	0,25	8	6	20		9	
164-14-011	CAEXD271979	41	0,5	1	40	0,25	13	8	20		2,5	
164-14-011	CAEXD271981	263	11	1	10	0,25	8	7	10		2,5	
164-14-012	AKA14-ENV-046	161	8	<5	13	<0.2	11	9	65	93	<5	0.6
164-14-012	CAEXD272498	23	0,5	4	36	0,25	9	6	10		2,5	
164-14-012	AKA14-ENV-047	90	9	<5	21	<0.2	218	11	527	197	12	0.4
164-14-012	AKA14-ENV-048	69	6	5	17	<0.2	12	8	54	167	<5	0.5
164-14-012	CAEXD272976	196	25	3	14	0,25	7	5	10		2,5	
164-14-012	CAEXD272981	131	21	1	14	0,25	11	10	20		7	
164-14-013	CAEXD271990	133	1	4	28	0,25	17	8	20		2,5	
164-14-014	CAEXD272983	133	0,5	1	28	0,25	14	7	30		2,5	
164-14-014	CAEXD272984	580	44	9	14	0,25	13	9	20		2,5	
164-14-015	AKA14-ENV-051	53	11	<5	20	<0.2	245	13	728	165	<5	0.4
164-14-015	AKA14-ENV-052	42	2	<5	20	<0.2	14	7	71	152	<5	0.5
164-14-015	AKA14-ENV-053	136	11	<5	29	<0.2	246	10	603	176	<5	0.7
164-14-015	CAEXD273479	26	0,5	3	15	0,25	11	5	20		2,5	
164-14-015	AKA14-ENV-054	146	8	<5	17	<0.2	18	8	58	166	<5	0.6
164-14-015	CAEXD273481	234	10	1	17	0,25	13	8	20		2,5	

Tableau A.9. (suite) : Andésites alcalines (unité 5B)

Sondage	No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)
164-14-016	CAEXD272997	174	3	2	20	0,25	14	10	20		2,5	
164-14-018	CAEXD272998	128	3	1	36	0,25	13	8	20		2,5	
164-14-018	CAEXD272999	36	2	1	29	0,25	8	5	10		2,5	
164-14-018	CAEXD273000	76	3	1	11	0,25	12	8	20		2,5	
164-14-018	CAEXD273727	47	1	1	32	0,25	12	7	30		2,5	
164-14-018	CAEXD273728	226	4	4	10	0,25	11	5	20		2,5	
164-14-018	CAEXD273729	211	28	7	16	0,25	14	3	40		2,5	
164-14-019	CAEXD273451	80	9	6	32	0,25	21	9	40		2,5	
164-14-019	CAEXD273452	28	0,5	1	32	0,25	9	7	20		2,5	
164-14-019	CAEXD273453	21	6	1	16	0,25	11	6	20		2,5	
164-14-019	CAEXD273454	390	8	3	25	0,25	19	13	30		5	
164-14-019	CAEXD273456	1795	42	7	27	0,25	21	20	40		2,5	
164-14-020	CAEXD273993	57	0,5	2	14	0,25	9	6	20		2,5	
164-14-020	CAEXD273994	92	3	4	19	0,25	17	8	20		2,5	
164-14-022	CAEXD273743	44	0,5	1	32	0,25	12	8	30		2,5	
164-14-022	CAEXD273744	84	1	4	7	0,25	9	5	20		2,5	
164-14-022	CAEXD273746	939	9	1	14	0,25	10	7	20		2,5	
164-14-022	CAEXD275986	5070	55	2	31	0,25	19	8	60		2,5	
164-14-024	AKA14-ENV-065	725	39	12	25	<0.2	21	8	68	83	<5	0.7
164-14-024	CAEXD273491	391	24	9	21	0,25	7	5	10		2,5	
164-14-024	CAEXD273498	11	0,5	1	35	0,25	19	8	20		2,5	
164-14-026	CAEXD273976	96	10	14	17	0,25	14	10	30		2,5	
164-14-026	CAEXD273977	509	14	12	26	0,25	16	8	30		2,5	
IAX-12-200	AKA14-ENV-072	87	<2	<5	32	<0.2	21	10	64	236	<5	0.5
IAX-12-200	AKA14-ENV-073	47	<2	<5	36	<0.2	17	7	64	235	<5	0.7
IAX-12-200	AKA14-ENV-074	56	6	<5	40	<0.2	20	9	61	310	<5	0.6
IAX-12-200	AKA14-ENV-075	482	17	<5	14	1.0	308	12	864	173	<5	0.5
IAX-12-201	AKA14-ENV-076	159	15	<5	15	<0.2	264	9	625	167	<5	0.6
IAX-12-201	AKA14-ENV-077	78	10	<5	24	<0.2	274	14	685	214	24	0.5
IAX-12-201	AKA14-ENV-080	188	3	<5	21	<0.2	20	9	71	237	<5	0.6

Tableau A.1. (suite) : Basaltes andésitiques (unité 1)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-004	AKA14-ENV-015	60	34	15	1	17	0,0066	2,2	0,07
164-14-004	AKA14-ENV-021	122	53	17	2	14	0,0097	3,1	0,12
164-14-004	AKA14-ENV-011	28	52	21	2	19	0,0117	2,5	0,10
164-14-004	AKA14-ENV-013	28	42	18	1	18	0,0084	2,4	0,06
164-14-004	AKA14-ENV-012	31	39	17	2	18	0,0077	2,3	0,12
164-14-004	CAEXD270976	21	48	22	2	17	0,0105	2,2	0,08
164-14-005	CAEXD270983	84	29	22	1	19	0,0069	1,3	0,06
164-14-005	CAEXD270984	32	37	11	1	24	0,0105	3,3	0,11
164-14-007	CAEXD270993	50	35	12	1	21	0,0082	2,9	0,09
164-14-007	CAEXD270995	76	58	21	2	18	0,0103	2,8	0,10
164-14-011	CAEXD271984	66	59	26	3	16	0,0098	2,3	0,11
164-14-011	CAEXD271989	40	41	17	2	18	0,0083	2,4	0,10
164-14-012	CAEXD272982	85	46	20	2	18	0,0095	2,3	0,10
164-14-013	CAEXD273478	69	38	16	2	19	0,0077	2,3	0,11
164-14-014	CAEXD272992	50	43	18	2	17	0,0084	2,4	0,11
164-14-015	CAEXD273489	116	41	18	2	17	0,0077	2,3	0,10
164-14-019	CAEXD273459	16	34	16	2	17	0,0064	2,1	0,09
164-14-020	CAEXD275977	58	45	17	2	18	0,0094	2,6	0,11
164-14-021	AKA14-ENV-059	36	39	18	1	18	0,0088	2,2	0,06
164-14-023	AKA14-ENV-062	55	28	13	1	20	0,0066	2,2	0,08
164-14-025	CAEXD273991	68	23	11	1	19	0,0055	2,1	0,09
164-14-030	AKA14-ENV-070	34	47	21	2	19	0,011	2,3	0,10

Tableau A.2. (suite) : Basaltes ferro-titanifères (unité 2)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-023	AKA14-ENV-061	70	76	27	4	6,0	0,0060	2,9	0,15
164-14-009	AKA14-ENV-041	82	73	30	4	6,0	0,0058	2,4	0,13
164-14-009	CAEXD270999	40	93	27	4	5,4	0,0065	3,5	0,15
164-14-011	CAEXD271988	15	73	23	4	5,9	0,0055	3,1	0,16
164-14-022	CAEXD273750	213	98	36	5	6,2	0,0075	2,8	0,14
164-14-027	CAEXD275982	61	78	26	4	5,7	0,0058	3,0	0,14

Tableau A.3. (suite) : Andésites (unité 3)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-004	AKA14-ENV-018	1204	93	18	4	35	0,036	5,1	0,217
164-14-004	CAEXD270979	1270	75	19	3	39	0,027	3,9	0,141
164-14-004	AKA14-ENV-022	358	69	15	3	34	0,029	4,7	0,203
164-14-004	AKA14-ENV-016	133	80	16	3	44	0,032	4,9	0,183
164-14-004	AKA14-ENV-020	2393	68	15	3	42	0,027	4,5	0,199
164-14-004	AKA14-ENV-017	198	62	15	3	38	0,021	4,1	0,197
164-14-004	AKA14-ENV-019	1549	87	16	4	40	0,036	5,4	0,248
164-14-004	CAEXD270980	3200	80	14	3	38	0,028	5,6	0,203
164-14-004	CAEXD270981	311	115	17	4	42	0,053	6,8	0,232
164-14-004	CAEXD270978	112	90	16	3	41	0,033	5,5	0,195
164-14-005	CAEXD270986	64	84	15	3	39	0,030	5,5	0,203
164-14-005	CAEXD270987	63	80	17	3	34	0,023	4,8	0,181
164-14-009	AKA14-ENV-044	180	68	16	3	42	0,025	4,4	0,194
164-14-009	AKA14-ENV-043	100	80	17	4	45	0,033	4,8	0,241
164-14-009	AKA14-ENV-045	158	87	14	3	45	0,034	6,3	0,217
164-14-009	CAEXD271000	120	79	14	3	40	0,028	5,7	0,217
164-14-009	AKA14-ENV-042	115	63	15	3	39	0,023	4,3	0,205
164-14-009	CAEXD271976	131	87	17	4	36	0,027	5,1	0,227
164-14-017	CAEXD273742	562	64	18	2	42	0,033	3,6	0,136
164-14-018	CAEXD273737	2370	84	16	4	35	0,029	5,4	0,229
164-14-018	CAEXD273735	92	82	15	4	40	0,031	5,6	0,245
164-14-018	CAEXD273736	313	82	17	4	38	0,027	4,9	0,222
164-14-023	AKA14-ENV-063	173	74	14	3	44	0,027	5,3	0,214
164-14-027	CAEXD275983	59	70	14	3	38	0,024	5,0	0,221

Tableau A.4. (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-13-001	AKA14-ENV-004	624	81	7	3	38	0,033	12,1	0,45
164-14-004	AKA14-ENV-014	70	68	10	2	39	0,035	6,5	0,19
164-14-004	CAEXD270977								
164-14-005	CAEXD270988								
164-14-006	AKA14-ENV-023	317	100	16	6	27	0,027	6,3	0,38
164-14-006	AKA14-ENV-024	364	148	18	7	26	0,039	8,4	0,40
164-14-006	CAEXD272476	370	96	13	5	36	0,036	7,6	0,35
164-14-006	AKA14-ENV-025	700	128	14	6	28	0,036	9,4	0,44
164-14-006	AKA14-ENV-030	389	130	18	5	20	0,024	7,4	0,29
164-14-007	CAEXD270996	981	139	17	6	33	0,048	8,2	0,33
164-14-007	CAEXD270992	302	99	7	4	34	0,034	14,3	0,58
164-14-008	AKA14-ENV-034	351	130	14	6	28	0,039	9,3	0,43
164-14-008	AKA14-ENV-036	402	122	14	4	27	0,033	8,5	0,28
164-14-008	AKA14-ENV-037	411	90	14	4	28	0,027	6,3	0,28
164-14-008	CAEXD272483	349	95	14	5	32	0,031	6,9	0,35
164-14-008	CAEXD272484	1180	135	13	5	33	0,042	10,8	0,43
164-14-008	CAEXD272481	244	100	16	5	28	0,027	6,4	0,34
164-14-008	CAEXD272480	289	110	8	4	31	0,036	13,3	0,48
164-14-010	CAEXD272493	259	97	14	5	28	0,028	6,9	0,34
164-14-010	CAEXD272492	339	120	10	5	29	0,043	11,7	0,47
164-14-010	CAEXD272489	611	141	14	6	26	0,037	10,4	0,41
164-14-011	CAEXD271987	670	107	11	4	32	0,044	9,9	0,41
164-14-011	CAEXD271978	733	146	13	7	29	0,038	11,4	0,563
164-14-012	CAEXD272978	813	140	15	6	29	0,047	9,4	0,38
164-14-012	AKA14-ENV-049	568	139	13	6	27	0,041	11,0	0,48
164-14-012	AKA14-ENV-050	525	126	13	5	27	0,037	9,5	0,38
164-14-012	CAEXD272499	495	173	13	6	27	0,052	12,9	0,41
164-14-013	CAEXD271995	189	65	12	4	37	0,024	5,3	0,29
164-14-013	CAEXD271991	346	133	19	5	22	0,029	6,9	0,27
164-14-013	CAEXD271996	398	96	8	5	29	0,030	12,5	0,58
164-14-013	CAEXD273477	637	104	18	6	30	0,035	5,8	0,31
164-14-013	CAEXD272000	798	91	10	5	31	0,036	9,5	0,47
164-14-014	CAEXD272987	1750	90	11	3	41	0,044	8,2	0,31

Tableau A.4. (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-015	CAEXD273482	295	130	20	6	18	0,022	6,4	0,27
164-14-015	CAEXD273480	381	147	15	6	25	0,038	9,8	0,41
164-14-015	CAEXD273487	1405	134	19	6	33	0,045	7,2	0,32
164-14-016	CAEXD272993	415	99	13	4	34	0,042	7,9	0,28
164-14-017	CAEXD273740	601	93	15	5	36	0,041	6,4	0,36
164-14-017	CAEXD273741	1365	102	17	5	35	0,044	6,2	0,28
164-14-018	CAEXD273726	584	130	14	6	29	0,037	9,4	0,46
164-14-018	CAEXD273733	984	106	14	5	29	0,032	7,4	0,35
164-14-018	CAEXD273731	1050	138	17	6	23	0,032	8,3	0,35
164-14-019	CAEXD273455	310	137	17	5	24	0,032	8,2	0,30
164-14-019	CAEXD273500	566	109	13	5	27	0,031	8,4	0,36
164-14-020	CAEXD273998	386	68	11	3	42	0,030	6,3	0,31
164-14-020	CAEXD273995	723	121	14	6	28	0,035	9,0	0,42
164-14-020	CAEXD273997	1175	102	9	4	32	0,034	11,9	0,51
164-14-021	CAEXD275978	897	134	22	6	21	0,032	6,0	0,27
164-14-022	CAEXD273747	327	151	18	6	21	0,030	8,2	0,32
164-14-024	AKA14-ENV-064	383	126	16	5	25	0,031	7,9	0,31
164-14-024	CAEXD273496	442	119	20	7	20	0,024	6,0	0,33
164-14-024	CAEXD273497	734	120	14	7	36	0,044	8,9	0,48
164-14-025	CAEXD273988	891	113	14	6	34	0,042	8,4	0,41
164-14-025	CAEXD273987	1195	112	15	5	33	0,043	7,4	0,35
IAX-12-200	AKA14-ENV-071	605	133	14	6	26	0,036	9,2	0,42

Tableau A.5. (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-13-001	AKA14-ENV-006	1301	105	13	4	39	0,042	8,0	0,31
164-13-001	AKA14-ENV-007	821	124	17	5	34	0,045	7,5	0,30
164-13-001	AKA14-ENV-010	1073	113	16	5	35	0,042	7,0	0,31
164-13-001	AKA14-ENV-009	880	117	18	5	33	0,041	6,4	0,27
164-13-001	AKA14-ENV-008	939	127	18	6	33	0,042	6,9	0,33
164-14-007	AKA14-ENV-032	199	66	8	4	39	0,026	8,3	0,50
164-14-007	AKA14-ENV-033	258	64	9	3	42	0,027	7,5	0,35
164-14-007	CAEXD270994	167	78	7	4	44	0,036	10,7	0,507
164-14-007	CAEXD270990	151	67	8	3	42	0,028	8,2	0,341
164-14-009	AKA14-ENV-038	808	99	17	5	33	0,034	6,0	0,30
164-14-009	CAEXD270997	1285	89	18	3	37	0,035	5,0	0,179
164-14-009	AKA14-ENV-040	577	57	9	3	33	0,034	6,7	0,35
164-14-009	AKA14-ENV-039	491	85	12	4	36	0,038	7,3	0,34
164-14-009	CAEXD270998	576	39	4	2	37	0,038	9,5	0,44
164-14-011	CAEXD271985	786	130	18	6	34	0,047	7,3	0,31
164-14-011	CAEXD271980	267	99	15	5	41	0,042	6,5	0,322
164-14-012	CAEXD272979	870	110	16	5	34	0,043	7,1	0,335
164-14-013	CAEXD273476	616	116	16	7	34	0,043	7,1	0,45
164-14-013	CAEXD271999	1030	132	18	6	32	0,044	7,3	0,34
164-14-013	CAEXD271997	778	130	16	6	34	0,045	7,9	0,36
164-14-014	CAEXD272990	809	138	18	6	32	0,047	7,8	0,32
164-14-014	CAEXD272989	968	123	18	6	32	0,042	6,7	0,34
164-14-014	CAEXD272988	610	133	13	6	28	0,038	10,2	0,44
164-14-015	CAEXD273488	1210	95	14	4	36	0,042	6,7	0,28
164-14-015	CAEXD273485	1210	128	18	6	33	0,046	7,3	0,32
164-14-015	AKA14-ENV-055	221	82	14	4	27	0,025	5,7	0,28
164-14-015	CAEXD273486	969	143	16	6	37	0,054	9,1	0,35
164-14-016	CAEXD272994	1040	136	17	6	31	0,045	8,2	0,36
164-14-017	CAEXD273739	1040	132	16	6	33	0,046	8,4	0,39
164-14-018	CAEXD273732	791	102	10	4	38	0,044	10,0	0,40
164-14-018	CAEXD273734	972	113	14	6	35	0,047	7,9	0,39
164-14-019	CAEXD273457	911	93	12	4	39	0,042	7,8	0,36
164-14-020	CAEXD274000	1000	134	13	6	32	0,049	10,5	0,45

Tableau A.5. (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-021	AKA14-ENV-056	729	113	17	5	23	0,032	6,8	0,30
164-14-021	AKA14-ENV-058	993	105	10	5	40	0,049	10,2	0,49
164-14-021	CAEXD275980	586	124	17	6	34	0,045	7,5	0,36
164-14-022	CAEXD273745	344	110	15	5	39	0,045	7,6	0,37
164-14-022	CAEXD275985	598	140	17	6	33	0,051	8,1	0,35
164-14-024	CAEXD273499	503	122	12	4	36	0,046	10,2	0,37
164-14-025	CAEXD273990	646	127	12	5	33	0,052	10,5	0,42
164-14-025	CAEXD273989	853	119	13	5	35	0,046	9,0	0,39
164-14-026	CAEXD273985	644	107	9	5	48	0,052	11,9	0,50
164-14-026	CAEXD273986	751	106	12	5	34	0,043	9,2	0,43
164-14-026	CAEXD273983	709	103	9	4	38	0,048	12,0	0,49
164-14-026	CAEXD273981	814	78	10	4	32	0,032	8,2	0,46
164-14-026	CAEXD273982	921	114	15	6	34	0,041	7,5	0,37
164-14-026	CAEXD273984	1005	120	17	6	34	0,043	7,3	0,36
IAX-12-202	AKA14-ENV-082	691	72	7	5	41	0,031	9,9	0,68
IAX-12-222	AKA14-ENV-085	517	81	8	6	38	0,032	10,8	0,80
IAX-12-222	AKA14-ENV-084	776	119	10	5	36	0,043	12,3	0,52

Tableau A.6. (suite) : Andésites alcalines (unité 4B)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-007	AKA14-ENV-031	169	97	6	5	27	0,026	16,2	0,83
164-14-007	CAEXD270991	168	103	6	4	30	0,031	17,5	0,64
164-14-007	CAEXD270992	302	99	7	4	34	0,034	14,0	0,58
164-14-008	CAEXD272478	293	117	6	5	27	0,033	19,8	0,81
164-14-011	CAEXD271986	205	105	7	5	27	0,029	15,7	0,73
164-14-011	CAEXD271983	134	99	6	4	29	0,028	16,5	0,68
164-14-013	CAEXD271994	201	101	6	4	28	0,028	17,1	0,73
164-14-013	CAEXD271993	258	105	6	4	29	0,031	19,1	0,75
164-14-022	CAEXD273749	249	110	5	4	29	0,033	22,0	0,88
164-14-024	CAEXD273494	539	86	5	4	30	0,027	17,2	0,70
164-14-027	AKA14-ENV-066	211	106	6	4	28	0,029	17,4	0,66
164-14-027	AKA14-ENV-067	244	97	7	4	29	0,029	14,3	0,59
164-14-027	AKA14-ENV-068	162	111	6	5	28	0,030	19,8	0,89
164-14-027	AKA14-ENV-069	153	101	5	4	29	0,029	20,2	0,80
164-14-027	CAEXD275981	199	112	6	5	28	0,031	20,4	0,95

Tableau A.7. (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-13-001	AKA14-ENV-003	546	95	7	3	48	0,049	13,8	0,43
164-14-006	CAEXD272477	359	100	7	3	46	0,048	14,1	0,46
164-14-008	AKA14-ENV-035	366	80	6	2	63	0,056	14,5	0,36
164-14-010	CAEXD272491	672	124	10	4	44	0,054	12,5	0,43
164-14-012	CAEXD272977	409	99	9	4	51	0,052	11,6	0,48
164-14-012	CAEXD272500	255	55	4	2	63	0,033	12,8	0,44
164-14-013	CAEXD271998	835	79	6	3	46	0,051	13,2	0,55
164-14-016	CAEXD272995	537	89	9	4	43	0,044	10	0,41
164-14-016	CAEXD272996	327	77	6	3	55	0,044	13,3	0,53
164-14-017	CAEXD273738	1230	82	10	4	45	0,040	8,5	0,41
164-14-022	CAEXD275988	648	71	7	4	48	0,036	10,3	0,59
164-14-024	CAEXD273493	404	101	13	5	43	0,044	7,9	0,41
164-14-024	CAEXD273492	513	54	4	2	69	0,033	12,3	0,41
164-14-027	CAEXD275984	798	67	7	4	47	0,034	10	0,51
IAX-12-201	AKA14-ENV-079	329	87	7	3	50	0,044	11,8	0,41
IAX-12-201	AKA14-ENV-078	271	72	5	3	49	0,034	13,6	0,57

Tableau A.9. (suite) : Andésites alcalines (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-13-001	AKA14-ENV-001	547	83	5	2	58	0,051	16,0	0,38
164-13-001	AKA14-ENV-002	291	97	5,7	3	52	0,056	17,0	0,53
164-14-006	AKA14-ENV-026	246	77	4	3	55	0,041	18,3	0,71
164-14-006	AKA14-ENV-027	212	59	4	2	63	0,035	16,4	0,56
164-14-006	AKA14-ENV-028	400	97	6	3	50	0,051	17,3	0,54
164-14-007	CAEXD270989	316	81	5	3	54	0,041	17,6	0,54
164-14-007	AKA14-ENV-029	326	75	5	2	58	0,045	15,3	0,41
164-14-008	CAEXD272479	198	104	5	3	53	0,062	21,7	0,65
164-14-008	CAEXD272485	352	58	3	2	60	0,033	17,6	0,55
164-14-008	CAEXD272486	280	75	3	2	63	0,045	22,7	0,64
164-14-010	CAEXD272487	176	80	4	2	62	0,049	20,5	0,56
164-14-010	CAEXD272488	157	68	3	2	72	0,047	20,6	0,55
164-14-010	CAEXD272490	276	63	3	2	94	0,055	23,3	0,70
164-14-010	CAEXD272496	231	74	4	2	51	0,040	19,5	0,55
164-14-010	CAEXD272497	375	116	7	3	60	0,074	17,3	0,51
164-14-011	CAEXD271977	285	63	3	2	77	0,046	21,0	0,57
164-14-011	CAEXD271979	283	90	5	3	51	0,045	17,3	0,50
164-14-011	CAEXD271981	384	111	6	3	52	0,069	19,8	0,48
164-14-012	AKA14-ENV-046	204	67	3	2	65	0,043	22,3	0,67
164-14-012	CAEXD272498	252	59	3	2	96	0,049	20,3	0,52
164-14-012	AKA14-ENV-047	234	64	3	2	74	0,044	22,1	0,69
164-14-012	AKA14-ENV-048	207	62	3	2	74	0,043	20,7	0,67
164-14-012	CAEXD272976	346	92	6	3	86	0,085	15,9	0,53
164-14-012	CAEXD272981	561	98	5	3	59	0,051	19,2	0,51
164-14-013	CAEXD271990	174	82	4	2	53	0,041	20,0	0,56
164-14-014	CAEXD272983	191	79	4	2	54	0,040	20,8	0,63
164-14-014	CAEXD272984	330	67	3	2	66	0,043	20,3	0,55
164-14-015	AKA14-ENV-051	218	63	3	1	67	0,040	19,7	0,31
164-14-015	AKA14-ENV-052	225	71	3	2	82	0,054	23,7	0,67
164-14-015	AKA14-ENV-053	208	61	3	1	74	0,042	21,8	0,36
164-14-015	CAEXD273479	256	64	3	2	67	0,040	22,1	0,69
164-14-015	AKA14-ENV-054	230	73	3	2	70	0,049	22,8	0,63
164-14-015	CAEXD273481	282	71	4	2	57	0,038	19,2	0,59

Tableau A.9. (suite) : Andésites alcalines (unité 5A)

Sondage	No. Échant.	Ba (ppm)	Zr (ppm)	Y (ppm)	Nb (ppm)	Al ₂ O ₃ /TiO ₂	Zr/Ti	Zr/Y	Nb/Y
164-14-016	CAEXD272997	277	88	5	3	54	0,047	18,7	0,55
164-14-018	CAEXD272998	302	93	6	2	53	0,053	16,3	0,42
164-14-018	CAEXD272999	220	64	3	2	86	0,051	21,3	0,53
164-14-018	CAEXD273000	246	75	3	2	73	0,052	25,0	0,57
164-14-018	CAEXD273727	210	76	3	2	65	0,047	23,0	0,70
164-14-018	CAEXD273728	422	106	6	3	74	0,084	19,3	0,60
164-14-018	CAEXD273729	545	100	6	3	57	0,049	17,5	0,53
164-14-019	CAEXD273451	171	67	4	2	59	0,036	16	0,49
164-14-019	CAEXD273452	269	71	3	2	90	0,056	24	0,57
164-14-019	CAEXD273453	240	67	3	2	80	0,051	23	0,62
164-14-019	CAEXD273454	278	83	4	2	57	0,041	22	0,62
164-14-019	CAEXD273456	303	95	5	4	52	0,053	18	0,73
164-14-020	CAEXD273993	363	71	3	2	69	0,046	24	0,60
164-14-020	CAEXD273994	287	76	4	2	55	0,040	21	0,64
164-14-022	CAEXD273743	213	95	4	3	48	0,047	24,4	0,72
164-14-022	CAEXD273744	119	76	3	2	69	0,053	22,4	0,62
164-14-022	CAEXD273746	199	127	6	3	47	0,073	20,5	0,40
164-14-022	CAEXD275986	660	78	5	4	41	0,045	14	0,67
164-14-024	AKA14-ENV-065	334	112	6	2	55	0,064	18,4	0,33
164-14-024	CAEXD273491	479	112	5	3	51	0,058	20,7	0,52
164-14-024	CAEXD273498	249	51	3	2	62	0,028	17,0	0,63
164-14-026	CAEXD273976	350	81	4	2	63	0,048	21,9	0,51
164-14-026	CAEXD273977	379	110	6	3	38	0,043	18,3	0,57
IAX-12-200	AKA14-ENV-072	325	85	4	2	60	0,047	23,0	0,54
IAX-12-200	AKA14-ENV-073	165	93	5	2	51	0,047	20,7	0,44
IAX-12-200	AKA14-ENV-074	304	79	3	2	60	0,044	23,2	0,59
IAX-12-200	AKA14-ENV-075	338	98	6	3	57	0,056	17,8	0,55
IAX-12-201	AKA14-ENV-076	243	76	3	2	73	0,053	25,3	0,67
IAX-12-201	AKA14-ENV-077	224	73	3	2	69	0,047	24,3	0,67
IAX-12-201	AKA14-ENV-080	241	83	4	2	57	0,045	21,3	0,51

ANNEXE B – ANALYSES DES MÉTAUX À RISQUE

Tableau B.1 : Basaltes andésitiques de l'unité 1

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	65	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-015	559 (*)	28	<5	37	<0.2	149	54	399	13205	6		60
AKA14-ENV-021	862	16	<5	27	<0.2	268	35	644	897	<5		122
AKA14-ENV-011	910	21	<5	32	<0.2	104	59	351	1348	9		28
AKA14-ENV-013	446	23	<5	33	<0.2	98	39	401	1306	7		28
AKA14-ENV-012	302	28	<5	31	<0.2	138	39	427	1075	6		31
CAEXD270976	88	2	1	41	0,25	83	42	350		2,5		21
CAEXD270983	6370	9	1	58	0,7	126	63	360		14		84
CAEXD270984	462	26	1	24	0,25	86	21	280		13		32
CAEXD270993	882	14	1	45	0,25	100	30	380		2,5		50
CAEXD270995	77	6	1	39	0,25	145	33	410		2,5		76
CAEXD271984	1915	573	4	58	0,25	132	50	370		2,5		66
CAEXD271989	190	15	3	39	0,25	160	36	420		6		40
CAEXD272982	320	10	1	32	0,25	152	43	380		2,5		85
CAEXD273478	534	59	1	33	0,25	139	30	370		2,5		69
CAEXD272992	14	7	1	38	0,25	132	31	380		8		50
CAEXD273489	168	35	1	38	0,25	128	35	390		6		116
CAEXD273459	288	19	1	39	0,25	105	42	380		2,5		16
CAEXD275977	455	75	1	33	0,25	179	40	380		5		58
AKA14-ENV-059	83	4	<5	49	<0.2	111	32	366	1715	7		36
AKA14-ENV-062	265	8	<5	50	<0.2	108	36	369	1304	<5		55
CAEXD273991	67	0,5	1	47	0,6	129	43	390		5		68
AKA14-ENV-070	230	11	<5	43	<0.2	286	39	738	1111	5		34

(*) Teneur excédant le critère A de chacun des métaux considérés pour la province géologique du Supérieur. (Beaulieu, 2016)

Tableau B.2 : Basaltes ferro-titanifères de l'unité 2

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	65	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-061	245	14	<5	33	<0.2	62	45	71	1215	9		70
AKA14-ENV-041	514	21	<5	31	<0.2	48	39	77	1202	9		82
CAEXD271988	165	15	1	35	0,5	64	34	40		12		15
CAEXD273750	3790	38	3	32	0,25	53	38	40		10		213
CAEXD275982	4070	56	1	43	0,7	63	57	40		2,5		61

Tableau B.3. : Andésites de l'unité 3

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-018	217	4	<5	21	<0.2	7	20	43	263	<5		1204
CAEXD270979	559	9	1	17	0,25	15	40	20		5		1270
AKA14-ENV-022	926	40	<5	20	<0.2	21	22	92	357	<5		358
AKA14-ENV-016	182	11	<5	21	<0.2	9	16	64	443	<5		133
AKA14-ENV-020	842	57	<5	12	<0.2	9	22	48	325	<5		2393
AKA14-ENV-017	60	5	<5	26	<0.2	9	14	45	415	<5		198
AKA14-ENV-019	245	10	<5	36	<0.2	7	18	29	376	<5		1549
CAEXD270980	171	2	1	18	0,25	9	18	10		2,5		3200
CAEXD270981	295	3	1	10	0,25	5	10	20		2,5		311
CAEXD270978	106	1	1	23	0,25	16	15	20		2,5		112
CAEXD270986	233	8	1	20	0,25	16	33	20		2,5		64
CAEXD270987	84	6	1	19	0,25	8	15	30		2,5		63
AKA14-ENV-044	124	19	<5	27	<0.2	231	21	550	492	7		180
AKA14-ENV-043	133	13	<5	57	<0.2	271	15	664	458	6		100
AKA14-ENV-045	173	11	<5	23	<0.2	7	16	60	351	<5		158
CAEXD271000	78	2	1	19	0,25	8	15	10		8		120
AKA14-ENV-042	1283	100	14	41	<0.2	176	26	426	566	11		115
CAEXD271976	187	6	1	21	0,25	5	10	30		2,5		131
CAEXD273742	1015	42	1	15	0,25	7	29	30		2,5		562
CAEXD273737	301	7	1	16	0,25	9	12	20		2,5		2370
CAEXD273735	115	16	1	19	0,25	12	15	20		2,5		92
CAEXD273736	151	3	1	23	0,25	3	9	30		2,5		313
AKA14-ENV-063	256	22	<5	27	<0.2	12	12	73	497	<5		173
CAEXD275983	128	36	1	21	0,25	14	15	30	263	2,5		59

Tableau B.4 : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 4A

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-004	1933	56	19	78	<0.2	128	38	386	149	<5		624
AKA14-ENV-014	769	29	<5	24	<0.2	17	47	69	468	<5		70
CAEXD270977										2,5		117
AKA14-ENV-023	1642	18	7	29	<0.2	64	21	127	336	2,5		1295
AKA14-ENV-024	104	19	10	43	<0.2	62	20	152	339	6		317
CAEXD272476	89	0,5	7	26	0,25	41	13	60		6		364
AKA14-ENV-025	127	10	<5	21	<0.2	79	21	200	167	2,5		370
AKA14-ENV-030	210	23	12	148	<0.2	231	21	562	204	<5		700
CAEXD270996	706	1	3	35	0,25	28	13	60		<5		389
CAEXD270992	370	0,5	1	29	0,25	37	17	80		5		981
AKA14-ENV-034	4320	53	26	43	<0.2	70	18	213	147	2,5		302
AKA14-ENV-036	2550	54	8	20	<0.2	41	17	112	139	<5		351
AKA14-ENV-037	2671	61	9	23	<0.2	40	18	106	143	<5		402
CAEXD272483	1995	36	10	24	0,25	62	16	130		7		411
CAEXD272484	101	28	6	35	0,25	76	18	160		5		349
CAEXD272481	2740	78	12	26	0,25	68	24	100		5		1180
CAEXD272480	2290	30	26	16	0,25	32	19	70		9		244
CAEXD272493	1180	24	8	18	0,25	56	19	80		5		289
CAEXD272492	994	33	7	47	0,25	62	17	190		7		259
CAEXD272489	73	1	1	17	0,25	77	22	200		6		339
CAEXD271987	6340	59	3	31	0,25	38	12	70		7		611
CAEXD271978	28	1	3	23	0,25	106	24	210		6		670
AEXD272978	1905	25	3	41	0,25	42	19	180		7		733
AKA14-ENV-049	124	7	6	44	<0,2	82	22	213	377	6		813
AKA14-ENV-050	123	9	6	51	<0,2	83	21	215	391	<5		568
CAEXD272499	97	5	6	52	0,25	70	20	200		<5		525
CAEXD271995	3400	48	4	35	0,25	15	31	10		6		495
CAEXD271991	781	33	7	23	0,25	64	30	110		6		189
CAEXD271996	5300	75	5	23	0,25	22	10	20		2,5		346
CAEXD273477	3540	78	6	34	0,25	30	9	50		2,5		398
CAEXD272000	18000	128	3	23	0,25	31	12	80		2,5		637
CAEXD272987	7360	67	9	33	0,25	33	23	40		5		798

Tableau B.4 (suite) : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 4A

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
CAEXD273482	245	18	13	31	0,25	61	18	110		2,5		295
CAEXD273480	160	2	4	51	0,25	89	25	220		5		381
CAEXD273487	372	35	4	56	0,25	26	21	50		6		1405
CAEXD272993	4420	42	1	30	0,25	30	15	70		5		415
CAEXD273740	9610	127	1	24	0,25	28	10	80		2,5		601
CAEXD273741	15500	518	6	23	0,25	29	10	60		2,5		1365
CAEXD273726	132	7	6	57	0,25	91	25	210		2,5		584
CAEXD273733	5120	100	15	21	0,25	34	19	80		7		984
CAEXD273731	5380	70	9	15	0,25	43	32	110		11		1050
CAEXD273455	482	19	10	31	0,25	59	26	110		2,5		310
CAEXD273500	47	1	6	83	0,25	88	24	140		44		566
CAEXD273998	2270	40	5	21	0,25	40	21	30		2,5		386
CAEXD273995	191	8	8	57	0,25	86	22	200		2,5		723
CAEXD273997	3180	68	3	46	0,25	31	40	50		6		1175
CAEXD275978	1410	8	4	55	0,25	35	25	100		5		897
CAEXD273747	420	161	7	77	0,25	73	10	120		2,5		327
AKA14-ENV-064	1332	59	10	31	<0.2	195	24	449	203	<5		383
CAEXD273496	59	1	8	49	0,25	97	26	110		6		442
CAEXD273497	1	0,5	6	32	0,25	23	14	30		2,5		734
CAEXD273988	7150	102	2	27	0,25	32	14	70		2,5		891
CAEXD273987	1830	7	3	40	0,25	22	14	50		5		1195
AKA14-ENV-071	201	9	8	70	<0.2	240	25	541	440	<5		605

Tableau B.5 : Intrusions dacitiques et QFP de l'unité 4A

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-006	7990	100	<5	27	<0.2	31	17	100	74			1301
AKA14-ENV-007	1636	17	7	49	<0.2	25	17	82	341			821
AKA14-ENV-010	272	4	8	39	<0.2	19	11	94	397			1073
AKA14-ENV-009	561	22	9	49	<0.2	23	14	85	321			880
AKA14-ENV-008	678	6	9	49	<0.2	21	13	86	315			939
AKA14-ENV-032	325	12	6	39	<0.2	41	20	109	162			199
AKA14-ENV-033	538	18	<5	29	<0.2	257	18	698	212			258
CAEXD270994	121	2	3	30	0,25	84	14	230				167
CAEXD270990	86	5	1	34	0,25	50	13	90				151
AKA14-ENV-038	6888	169	6	30	<0.2	54	24	141	128	5		808
CAEXD270997	416	13	1	17	0,25	9	20	10		2,5		1285
AKA14-ENV-040	6409	63	<5	22	<0.2	25	10	134	113	<5		577
AKA14-ENV-039	1980	65	<5	26	<0.2	23	16	97	234	<5		491
CAEXD270998	2890	47	1	11	0,25	14	5	30		2,5		576
CAEXD271985	937	16	1	34	0,25	26	12	60		6		786
CAEXD271980	59	1	1	17	0,25	45	12	90		2,5		267
CAEXD272979	965	1	3	32	0,25	20	9	50		2,5		870
CAEXD273476	1230	7	5	34	0,25	23	9	60		2,5		616
CAEXD271999	697	1	8	58	0,25	25	14	60		7		1030
CAEXD271997	977	3	1	22	0,25	26	15	50		5		778
CAEXD272990	478	1	5	33	0,25	23	8	50		2,5		809
CAEXD272989	376	14	5	38	0,25	25	10	50		8		968
CAEXD272988	4350	46	8	25	0,25	53	28	80		7		610
CAEXD273488		67	5	23	0,25	27	9	70		2,5		1210
CAEXD273485	2210	90	3	51	0,25	24	15	50		2,5		1210
AKA14-ENV-055	92	2	<5	94	<0.2	322	52	571	844	<5		221
CAEXD273486	1005	3	5	66	0,25	28	13	50		2,5		969
CAEXD272994	3100	2	3	200	0,25	27	10	60		9		1040
CAEXD273739	3490	7	6	42	0,25	29	11	60		2,5		1040

Tableau B.5 (suite)

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
CAEXD273732	4480	13	8	16	0,25	27	13	60		2,5		791
CAEXD273734	119	2	4	38	0,25	21	9	50		2,5		972
CAEXD273457		215	5	20	0,25	30	12	60		5		911
CAEXD274000	85	2	3	28	0,25	21	10	50		2,5		1000
AKA14-ENV-056	349	6	7	38	<0.2	40	13	138	258	5		729
AKA14-ENV-058	440	3	<5	33	<0.2	34	83	115	191	<5		993
CAEXD275980	334	2	7	37	0,25	23	10	60		2,5		586
CAEXD273745	113	0,5	1	20	0,25	45	12	90		2,5		344
CAEXD275985	279	3	5	51	0,25	24	13	60		2,5		598
CAEXD273499	52	43	17	54	0,25	29	11	50		5		503
CAEXD273990	3580	13	2	31	0,25	23	11	50		2,5		646
CAEXD273989	882	0,5	9	38	0,25	21	10	40		5		853
CAEXD273985	94	0,5	7	36	0,25	19	7	50		2,5		644
CAEXD273986	2310	3	8	31	0,25	22	10	50		2,5		751
CAEXD273983	4570	67	3	50	0,25	27	12	70		2,5		709
CAEXD273981	3620	17	2	26	0,25	25	9	60		2,5		814
CAEXD273982	538	1	6	39	0,25	23	11	50		2,5		921
CAEXD273984	239	0,5	4	39	0,25	20	10	50		2,5		1005
AKA14-ENV-082	66	21	<5	31	<0.2	91	15	218	384	<5		691
AKA14-ENV-085	124	12	<5	45	<0.2	320	20	778	515	<5		517
AKA14-ENV-084	135	7	<5	39	<0.2	83	17	167	494	<5		776

Tableau B.6 : Andésites alcalines de l'unité 4B

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-031	181	11	8	31	<0.2	18	12	59	178	<5		169
CAEXD270991	529	1	1	17	0,25	19	16	20		5		168
CAEXD270992	370	0,5	1	29	0,25	37	17	80		2,5		302
CAEXD272478	1500	285	12	94	0,25	23	15	20		2,5		293
CAEXD271986	228	3	2	26	0,25	22	13	50		8		205
CAEXD271983	721	34	1	31	0,25	19	17	30		2,5		134
CAEXD271994	873	54	1	46	0,25	22	12	20		5		201
CAEXD271993	938	11	4	24	0,25	18	14	20		6		258
CAEXD273749	2080	59	2	25	0,25	20	24	30		2,5		249
CAEXD273494	330	7	3	16	0,25	23	10	20		2,5		539
AKA14-ENV-066	485	4	13	15	<0.2	26	15	58	146	6		211
AKA14-ENV-067	3289	107	<5	26	<0.2	191	24	610	131	6		244
AKA14-ENV-068	160	3	7	38	<0.2	25	11	60	388	5		162
AKA14-ENV-069	230	5	<5	22	<0.2	23	12	63	296	<5		153
CAEXD275981	145	0,5	5	28	0,25	20	10	30	178	<5		199

Tableau B.7 : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-003	322	47	13	39	<0.2	187	16	582	178	<5		546
CAEXD272477	327	14	4	28	0,25	18	7	30		2,5		359
AKA14-ENV-035	1229	29	16	14	1,3	203	13	600	130	<5		366
CAEXD272491	124	33	9	15	0,25	29	12	40		2,5		672
CAEXD272977	732	20	7	26	0,25	16	11	40		2,5		409
CAEXD272500	55	5	3	18	0,25	21	9	30		2,5		255
CAEXD271998	4510	19	2	24	0,25	18	12	40		2,5		835
CAEXD272995	2260	19	2	33	0,25	37	8	90		5		537
CAEXD272996	59	0,5	1	25	0,25	27	10	60		2,5		327
CAEXD273738		59	1	19	0,25	25	16	60		2,5		1230
CAEXD275988	47	7	3	25	0,25	79	13	200		2,5		648
CAEXD273493	975	10	12	25	0,25	49	16	110		5		404
CAEXD273492	1015	5	7	20	0,25	10	6	10		2,5		513
CAEXD275984	41	2	1	23	0,25	65	14	150		2,5		798
AKA14-ENV-079	98	3	<5	22	<0.2	34	10	92	276	<5		329
AKA14-ENV-078	232	<2	<5	30	<0.2	34	13	87	281	<5		271

Tableau B.9 : Andésites alcalines de l'unité 5B

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
AKA14-ENV-001	445	44	13	11	<0.2	9	10	47	68	<5		547
AKA14-ENV-002	388	49	17	12		8	7,8	80	70	2		291
AKA14-ENV-026	76	8	<5	22	<0.2	13	10	63	222	<5		246
AKA14-ENV-027	167	16	10	39	<0.2	11	8	63	151	<5		212
AKA14-ENV-028	187	11	<5	11	<0.2	10	8	62	131	<5		400
CAEXD270989	220	8	2	31	0,25	16	10	20		2,5		316
AKA14-ENV-029	311	19	6	14	<0.2	225	13	699	225	<5		326
CAEXD272479	918	50	9	21	0,25	15	7	20		2,5		198
CAEXD272485	34	0,5	1	27	0,25	15	9	20		2,5		352
CAEXD272486	120	12	1	14	0,25	15	9	30		2,5		280
CAEXD272487	186	5	4	17	0,25	12	11	30		2,5		176
CAEXD272488	56	3	1	23	0,25	13	7	20		2,5		157
CAEXD272490	141	16	3	7	0,25	5	6	10		2,5		276
CAEXD272496	148	4	3	13	0,25	18	10	30		2,5		231
CAEXD272497	109	43	2	15	0,25	9	7	10		2,5		375
CAEXD271977	47	0,5	3	14	0,25	8	6	20		9		285
CAEXD271979	41	0,5	1	40	0,25	13	8	20		2,5		283
CAEXD271981	263	11	1	10	0,25	8	7	10		2,5		384
AKA14-ENV-046	161	8	<5	13	<0.2	11	9	65	93	<5		204
CAEXD272498	23	0,5	4	36	0,25	9	6	10		2,5		252
AKA14-ENV-047	90	9	<5	21	<0.2	218	11	527	197	12		234
AKA14-ENV-048	69	6	5	17	<0.2	12	8	54	167	<5		207
CAEXD272976	196	25	3	14	0,25	7	5	10		2,5		346
CAEXD272981	131	21	1	14	0,25	11	10	20		7		561
CAEXD271990	133	1	4	28	0,25	17	8	20		2,5		174
CAEXD272983	133	0,5	1	28	0,25	14	7	30		2,5		191
CAEXD272984	580	44	9	14	0,25	13	9	20		2,5		330
AKA14-ENV-051	53	11	<5	20	<0.2	245	13	728	165	<5		218
AKA14-ENV-052	42	2	<5	20	<0.2	14	7	71	152	<5		225
AKA14-ENV-053	136	11	<5	29	<0.2	246	10	603	176	<5		208
CAEXD273479	26	0,5	3	15	0,25	11	5	20		2,5		256
AKA14-ENV-054	146	8	<5	17	<0.2	18	8	58	166	<5		230

Tableau B.9 : (suite)

No. Échant.	Cu (ppm)	Mo (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Cd (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Cr (ppm)	Mn (ppm)	As (ppm)	Se (ppm)	Ba (ppm)
Critère A	30	8	40	150	0,9	65	30	100	1000	5	3	240
CAEXD273481	234	10	1	17	0,25	13	8	20		2,5		282
CAEXD272997	174	3	2	20	0,25	14	10	20		2,5		277
CAEXD272998	128	3	1	36	0,25	13	8	20		2,5		302
CAEXD272999	36	2	1	29	0,25	8	5	10		2,5		220
CAEXD273000	76	3	1	11	0,25	12	8	20		2,5		246
CAEXD273727	47	1	1	32	0,25	12	7	30		2,5		210
CAEXD273728	226	4	4	10	0,25	11	5	20		2,5		422
CAEXD273729	211	28	7	16	0,25	14	3	40		2,5		545
CAEXD273451	80	9	6	32	0,25	21	9	40		2,5		171
CAEXD273452	28	0,5	1	32	0,25	9	7	20		2,5		269
CAEXD273453	21	6	1	16	0,25	11	6	20		2,5		240
CAEXD273454	390	8	3	25	0,25	19	13	30		5		278
CAEXD273456	1795	42	7	27	0,25	21	20	40		2,5		303
CAEXD273993	57	0,5	2	14	0,25	9	6	20		2,5		363
CAEXD273994	92	3	4	19	0,25	17	8	20		2,5		287
CAEXD273743	44	0,5	1	32	0,25	12	8	30		2,5		213
CAEXD273744	84	1	4	7	0,25	9	5	20		2,5		119
CAEXD273746	939	9	1	14	0,25	10	7	20		2,5		199
CAEXD275986	5070	55	2	31	0,25	19	8	60		2,5		660
AKA14-ENV-065	725	39	12	25	<0.2	21	8	68	83	<5		334
CAEXD273491	391	24	9	21	0,25	7	5	10		2,5		479
CAEXD273498	11	0,5	1	35	0,25	19	8	20		2,5		249
CAEXD273976	96	10	14	17	0,25	14	10	30		2,5		350
CAEXD273977	509	14	12	26	0,25	16	8	30		2,5		379
AKA14-ENV-072	87	<2	<5	32	<0.2	21	10	64	236	<5		325
AKA14-ENV-073	47	<2	<5	36	<0.2	17	7	64	235	<5		165
AKA14-ENV-074	56	6	<5	40	<0.2	20	9	61	310	<5		304
AKA14-ENV-075	482	17	<5	14	1.0	308	12	864	173	<5		338
AKA14-ENV-076	159	15	<5	15	<0.2	264	9	625	167	<5		243
AKA14-ENV-077	78	10	<5	24	<0.2	274	14	685	214	24		224
AKA14-ENV-080	188	3	<5	21	<0.2	20	9	71	237	<5		241

ANNEXE C – RÉSULTATS DES ESSAIS STATIQUES CHIMIQUES

Tableau C.1. : Basaltes andésitiques de l'unité 1

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-015	0,15	0,07	5	6	1,0	1,2	0,15	0,07	4,8	7,3	4,78	2,5
AKA14-ENV-021	0,41	0,41	13	34	21,4	2,6	0,56	0,38	17,6	17,0	17,6	-0,3
AKA14-ENV-011	0,27	0,27	9	23	14,0	2,6	0,27	0,27	8,6	20,0	8,56	11
AKA14-ENV-013	0,11	0,14	3	12	8,4	3,5	0,11	0,14	3,3	12,0	3,31	9,2
AKA14-ENV-012	0,04	0,10	1	8	7,1	7,5	0,04	0,10	1,1	12,0	1,09	11
CAEXD270976	0,01	0,09	0	8	7,4	19,6						
CAEXD270993	0,24	0,08	7	7	-0,6	0,9						
CAEXD270995	0,04	0,06	1	5	3,6	4,1						
CAEXD272982	0,08	0,18	3	15	12,3	5,9						
CAEXD273489	0,01	0,42	0	35	34,8	84,8						
AKA14-ENV-059	0,05	0,76	1	63	61,6	43,9	0,05	0,76	1,4	65	1,44	64
AKA14-ENV-062	0,07	0,21	2	17	15,3	8,1	0,07	0,21	2,2	57	2,16	55
AKA14-ENV-070	0,07	0,16	2	13	11,1	6,0	0,17	0,15	5,2	15	5,22	9,7

Tableau C. 2 : Basaltes ferro titanifères de l'unité 2

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-061	0,11	0,46	3,4	39	35	11,5	0,11	0,46	3,4	28	24	8,3
AKA14-ENV-041	0,07	0,53	2,2	44	42	20,2	0,07	0,53	2,2	39	37	17,8
CAEXD273750	0,69	0,03	21,6	2,5	-19,1	0,1						
CAEXD275982	0,70	0,14	22,0	11,7	-10,3	0,5						

(*) En kg CaCO₃/t

Tableau C. 3. : Andésite de l'unité 3

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-018	0,23	0,08	7,1	6,5	-0,6	0,9	0,23		7,1	12,0	5,2	1,7
CAEXD270979	1,79	0,63	55,9	52,6	-3,2	0,9						
AKA14-ENV-022	0,50	0,25	15,6	20,9	5,3	1,3	0,50		15,6	30,0	14,4	1,9
AKA14-ENV-016	0,25	0,15	7,8	12,5	4,7	1,6	0,25		7,8	17,0	9,4	2,2
AKA14-ENV-020	0,16	0,15	5,1	12,6	7,5	2,5	0,16		5,1	15,0	9,8	2,9
AKA14-ENV-017	0,16	0,34	5,1	28,3	23,2	5,6	0,16		5,1	32,0	27,0	6,3
AKA14-ENV-019	0,13	0,41	4,2	33,8	29,7	8,1	0,13		4,2	22,0	18,0	5,3
AKA14-ENV-044	0,18	0,10	6,3	8,3	2,0	1,3	0,18		5,6	4,9	-0,7	0,9
AKA14-ENV-043	0,16	0,15	5,1	12,5	7,4	2,5	0,21		6,6	7,2	0,6	1,1
AKA14-ENV-045	0,14	0,11	4,4	8,9	4,5	2,0	0,14		4,4	12,0	7,6	2,7
CAEXD271000	0,09	0,11	2,9	9,0	6,2	3,2						
AKA14-ENV-042	0,49	0,53	15,2	44,4	29,2	2,9	0,42		13,1	41,0	27,9	3,1
AKA14-ENV-063	0,28	0,34	8,7	28,5	19,8	3,3	0,28		8,7	15,0	6,2	1,7
CAEXD275983	0,04	0,07	1,2	5,5	4,3	4,6						

Tableau C. 4. : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 4A

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-004	2,20	0,02	68,9	2,0	-66,9	0,03	2,83	0,02	88,5	10,0	-78,5	0,1
AKA14-ENV-014	0,67	0,44	21,1	36,7	15,6	1,7	0,67	0,44	21,1	22,0	1,0	1,0
CAEXD270977	0,14	0,38	4,4	31,4	27,0	7,1						
AKA14-ENV-023	0,18	0,11	5,7	9,2	3,6	1,6	0,18	0,11	5,7	12,0	6,3	2,1
AKA14-ENV-024	0,09	0,10	2,9	8,5	5,6	2,9	0,09	0,10	2,9	10,0	7,1	3,4
CAEXD272476	0,09	0,26	2,7	21,9	19,2	8,0						
AKA14-ENV-025	0,04	0,47	1,2	39,1	37,9	33,8	0,04	0,47	1,2	29,0	28,0	25,0
AKA14-ENV-030	0,58	0,04	18,3	3,3	-15,0	0,2	0,46	0,02	14,5	2,5	-12,0	0,2
CAEXD270996	0,27	0,46	8,4	38,2	29,8	4,5						
AKA14-ENV-034	0,62	0,05	19,4	-15,0	0,2	-15,0	0,62	0,05	19,4	2,5	-16,9	0,1
AKA14-ENV-036	0,52	0,08	16,3	-9,6	0,4	-9,6	0,52	0,08	16,3	4,8	-11,5	0,3
AKA14-ENV-037	0,47	0,33	19,4	4,4	-15,0	0,2	0,47	0,33	14,8	12,0	-2,6	0,8
CAEXD272483	0,28	0,30	16,3	6,7	-9,6	0,4						
CAEXD272484	0,08	0,26	14,8	27,4	12,7	1,9						
CAEXD272978	0,59	0,02	18,4	1,8	-16,6	0,1						
AKA14-ENV-049	0,30	0,47	9,4	38,9	29,5	4,1	0,30	0,47	9,4	27,0	18,0	2,9
AKA14-ENV-050	0,24	0,38	7,4	31,7	24,3	4,3	0,24	0,38	7,4	24,0	17,0	3,3
CAEXD273482	0,82	0,09	25,5	7,9	-17,7	0,3						
CAEXD275978	0,17	0,42	5,5	35,2	29,7	6,5						
AKA14-ENV-064	1,12	0,16	34,9	13,1	-21,7	0,4	1,26	0,12	39,2	9,9	-29,4	0,3
CAEXD273496	0,15	0,27	4,6	22,6	18,0	4,9						
CAEXD273497	0,01	0,94	0,4	77,9	77,6	213,1						
AKA14-ENV-071	0,19	0,44	5,9	36,6	30,7	6,2	0,20	0,30	6,2	25,0	18,8	4,0

Tableau C. 5. : Intrusions dacitiques et QFP de l'unité 4A

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-006	0,69	0,03	21,7	2,5	-19,2	0,1	0,69	0,03	21,7	5,0	-16,7	0,2
AKA14-ENV-007	0,24	0,20	7,5	17,0	9,5	2,3	0,24	0,20	7,5	9,9	2,4	1,3
AKA14-ENV-010	0,09	0,10	2,7	8,7	5,9	3,2	0,09	0,10	2,7	10,0	7,3	3,7
AKA14-ENV-009	0,11	0,20	3,5	16,9	13,4	4,8	0,11	0,20	3,5	17,0	14,0	4,9
AKA14-ENV-008	0,06	0,16	1,8	13,2	11,5	7,6	0,06	0,16	1,8	17,0	15,0	9,7
AKA14-ENV-032	0,44	0,01	13,7	0,9	-12,7	0,1	0,44	0,01	13,7	5,0	-8,7	0,4
AKA14-ENV-033	0,25	0,03	7,9	2,1	-5,9	0,3	0,26	0,01	8,1	5,0	-3,1	0,6
CAEXD270994	0,11	0,11	3,3	9,0	5,7	2,7	0,64	0,03	19,9	2,5	-17,4	0,1
AKA14-ENV-038	0,64	0,03	19,9	2,2	-17,8	0,1						
CAEXD270997	0,21	0,02	6,6	1,5	-5,2	0,2	0,42	0,18	13,2	17,0	3,8	1,3
AKA14-ENV-040	0,42	0,18	13,2	14,7	1,6	1,1	0,48	0,46	15,0	31,0	16,0	2,1
AKA14-ENV-039	0,48	0,46	15,0	38,6	23,6	2,6	0,64	0,03	19,9	2,5	-17,4	0,1
CAEXD270998	0,19	0,28	6,0	22,9	16,9	3,8						
CAEXD272979	0,10	0,50	3,0	41,8	38,8	14,0						
CAEXD273488	0,73	0,41	22,8	34,1	11,3	1,5						
CAEXD273485	0,20	0,23	6,3	19,2	12,9	3,1						
AKA14-ENV-055	0,08	0,26	2,4	21,9	19,5	9,2	0,08	0,26	2,4	20,0	18,0	8,4
CAEXD273486	0,05	0,58	1,7	48,7	47,0	28,7						
AKA14-ENV-056	0,16	0,28	5,1	23,7	18,6	4,7	0,16	0,28	5,1	12,0	7,3	2,4
AKA14-ENV-058	0,16	0,52	4,9	42,9	38,0	8,8	0,16	0,52	4,9	35,0	30,0	7,2
CAEXD273745	0,13	0,34	4,0	28,3	24,3	7,1						
CAEXD275985	0,05	0,60	1,5	50,2	48,7	34,0						
CAEXD273499	0,28	0,20	8,6	16,3	7,6	1,9						
AKA14-ENV-082	0,09	0,09	2,7	7,1	4,4	2,7	0,09	0,09	2,7	5,0	2,3	1,9
AKA14-ENV-085	0,25	0,06	7,8	4,9	-2,9	0,6	0,18	0,04	5,6	4,9	-0,7	0,9
AKA14-ENV-084	0,05	0,08	1,7	6,6	4,9	4,0	0,05	0,08	1,7	5,0	3,3	3,0

Tableau C. 6. : Andésites alcalines de l'unité 4B

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-031	0,12	0,08	3,8	6,5	2,7	1,7	0,12	0,08	3,8	7,2	3,4	1,9
CAEXD270991	0,42	0,36	13,2	30,3	17,1	2,3						
CAEXD270992	0,15	0,69	4,6	57,9	53,3	12,7						
CAEXD272478	1,03	0,03	32,1	2,6	-29,6	0,1						
CAEXD273494	0,08	0,29	2,4	24,0	21,5	9,8						
AKA14-ENV-066	0,37	0,03	11,5	2,7	-8,8	0,2	0,33	0,01	10,3	7,5	-2,8	0,7
AKA14-ENV-067	0,26	0,02	8,3	1,6	-6,6	0,2	0,26	0,02	8,3	5,0	-3,2	0,6
AKA14-ENV-068	0,04	0,17	1,4	14,0	12,6	10,2	0,04	0,17	1,4	10	8,6	7,2
AKA14-ENV-069	0,05	0,30	1,5	25,2	23,6	16,4	0,05	0,30	1,5	15	13	9,8

Tableau C. 7. : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-003	2,07	0,03	64,7	2,5	-62,2	0,04	2,09	0,02	65,2	5,0	-60,2	0,1
CAEXD272477	0,24	0,21	7,4	17,8	10,4	2,4						
AKA14-ENV-035	1,02	0,21	31,9	17,5	-14,4	0,6	1,00	0,20	31,2	15,0	-16,6	0,5
CAEXD272977	1,82	0,02	56,7	1,8	-55,0	0,03						
CAEXD272500	0,003	0,79	0,1	65,8	65,7	657,7						
CAEXD273493	0,37	0,12	11,7	10,4	-1,3	0,9						
CAEXD273492	0,13	0,18	4,1	14,7	10,6	3,6						
CAEXD275984	0,05	0,19	1,7	15,8	14,2	9,4						
AKA14-ENV-079	0,09	0,30	2,9	25,0	22,1	8,6	0,09	0,30	2,9	25,0	22,0	8,6
AKA14-ENV-078	0,08	0,54	2,5	44,6	42,2	18,1	0,08	0,54	2,5	27,0	25,0	10,9

Tableau C. 8. : Dacites et tufs dacitiques de l'unité 5A

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-005	0,44	0,04	13,8	3,0	-10,8	0,2	0,44	0,04	13,8	2,5	-11,3	0,2
CAEXD270982	0,17	0,11	5,4	9,3	3,9	1,7						
CAEXD272482	0,59	0,76	18,4	63,7	45,2	3,5						
CAEXD272980	0,15	0,26	4,7	21,6	16,9	4,6						
CAEXD273484	0,35	0,02	11,0	1,8	-9,1	0,2						
CAEXD273483	0,39	0,08	12,3	6,8	-5,5	0,6						
CAEXD273490	0,11	0,03	3,5	2,8	-0,7	0,8						
AKA14-ENV-057	0,35	0,30	11,0	24,7	13,7	2,2	0,35	0,30	11,0	17,0	6,3	1,5
CAEXD275987	0,005	0,43	0,1	36,2	36,1	257,6						
AKA14-ENV-060	0,02	0,63	0,7	52,4	51,7	76,2	0,02	0,63	0,7	32,0	32,0	46,4
CAEXD273495	0,05	0,15	1,4	12,6	11,2	8,9						
AKA14-ENV-083	0,10	0,07	3,1	5,7	2,5	1,8	0,10	0,07	3,1	7,4	4,3	2,4
AKA14-ENV-081	0,04	0,06	1,2	5,3	4,2	4,6	0,04	0,06	1,2	5,0	3,8	4,3
AKA14-ENV-086	0,09	0,05	2,9	4,3	1,4	1,5	0,09	0,05	2,9	7,5	4,6	2,6

Tableau C. 9. : Andésites alcalines de l'unité 5B

No. Échant.	Carbonates						Essais Acisol					
	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)	S (%)	C (%)	PA (*)	PN (*)	PNN (*)	RPN (*)
AKA14-ENV-001	4,12	0,39	128,8	32,7	-96,0	0,3	4,12	0,39	129,0	20,0	-108,8	0,2
AKA14-ENV-002	1,31	0,05	40,9	4,4	-36,5	0,1	1,31	0,05	40,9	2,5	-38,4	0,06
AKA14-ENV-026	0,07	0,16	2,1	13,5	11,4	6,4	0,07	0,16	2,1	10,0	7,9	4,8
AKA14-ENV-027	0,17	0,19	5,3	15,8	10,5	3,0	0,17	0,19	5,3	15,0	9,5	2,8
AKA14-ENV-028	0,13	0,30	4,0	24,8	20,8	6,2	0,13	0,30	4,0	20,0	16,0	5,0
AKA14-ENV-029	0,71	0,36	22,3	30,2	7,9	1,4	0,65	0,33	20,2	19,0	-0,8	0,9
CAEXD272479	0,72	0,21	22,6	17,4	-5,2	0,8						
CAEXD272485	0,002	0,85	0,1	70,8	70,8	1030,4						
CAEXD272486	0,25	0,12	7,8	9,7	1,9	1,2						
AKA14-ENV-046	0,49	0,39	15,4	32,1	16,7	2,1	0,49	0,39	15,4	22,0	6,9	1,4
CAEXD272498	0,10	0,45	3,1	37,5	34,4	12,2						
AKA14-ENV-047	0,52	0,58	16,2	48,2	32,0	3,0	0,28	0,48	8,7	25,0	16,0	2,9
AKA14-ENV-048	0,28	0,44	8,6	36,2	27,6	4,2	0,28	0,44	8,6	17,0	8,4	2,0
CAEXD272976	0,10	0,09	3,1	7,5	4,4	2,4						
CAEXD272981	0,24	0,10	7,7	8,6	0,9	1,1						
AKA14-ENV-051	0,64	0,40	20,0	33,4	13,4	1,7	0,61	0,49	19,0	55,0	36,0	2,9
AKA14-ENV-052	0,09	0,26	2,9	21,7	18,8	7,5	0,09	0,26	2,9	12,0	9,4	4,2
AKA14-ENV-053	0,34	0,39	10,7	32,4	21,7	3,0	0,27	0,41	8,4	22,0	14,0	2,6
CAEXD273479	0,15	0,43	4,8	35,6	30,8	7,4						
AKA14-ENV-054	0,25	0,59	7,9	49,1	41,2	6,2	0,25	0,59	7,9	35,0	27,0	4,4
CAEXD273481	0,49	0,37	15,3	30,4	15,1	2,0						
CAEXD273743	0,05	0,70	1,5	58,6	57,1	38,0						
CAEXD273744	0,50	0,44	15,8	36,6	20,8	2,3						
CAEXD275986	0,26	0,20	8,2	16,6	8,4	2,0						
AKA14-ENV-065	0,14	0,27	4,4	22,2	17,8	5,0	0,14	0,27	4,4	15,0	10,0	3,4
CAEXD273498	0,01	0,91	0,2	76,0	75,8	368,5						
AKA14-ENV-072	0,07	0,13	2,1	11,1	9,0	5,3	0,07	0,13	2,1	12,0	10,0	5,7
AKA14-ENV-073	0,03	0,11	0,8	9,1	8,3	11,6	0,03	0,11	0,8	10,0	9,2	12,8
AKA14-ENV-074	0,09	0,29	2,8	23,9	21,1	8,4	0,09	0,29	2,8	12,0	9,6	4,2
AKA14-ENV-075	0,92	0,35	28,8	28,8	-0,04	1,0	1,16	0,30	36,4	15,0	-21,5	0,4
AKA14-ENV-076	0,30	0,50	9,3	41,3	32,0	4,4	0,45	0,44	14,1	28,0	13,0	2,0
AKA14-ENV-077	0,54	0,63	16,8	52,3	35,5	3,1	0,46	0,52	14,3	27,0	13,0	1,9
AKA14-ENV-080	0,23	0,06	7,3	5,2	-2,1	0,7	0,23	0,06	7,3	4,9	-2,4	0,7

ANNEXE D – ANALYSES DES MINÉRAUX NORMATIFS

Tableau D. 1 : Basaltes andésitiques (unité 1)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-015	0,0	13,7	1,3	26,5	17,8	44,2	0	0,0	0,0	33,7
AKA14-ENV-021	10,2	14,6	6,9	18,9	16,3	35,2	0	0,0	0,2	25,6
AKA14-ENV-011	2,8	18,0	0,4	15,9	18,9	34,8	0	0,0	0,0	30,5
AKA14-ENV-013	0,0	22,5	0,8	21,2	18,9	40,1	0	0,0	0,0	29,6
AKA14-ENV-012	0,0	17,4	1,0	20,4	20,7	41,0	0	0,0	0,0	32,6
CAEXD270976	0,0	18,4	0,7	25,7	18,8	44,4	0	0,0	0,0	27,3
CAEXD270983	0,0	16,3	6,1	20,1	24,5	44,6	0	0,0	0,0	25,2
CAEXD270984	12,2	5,4	2,0	6,3	10,0	16,3	0	0,0	2,5	37,2
CAEXD270993	0,0	17,0	2,5	26,3	18,8	45,0	0	0,0	0,0	30,3
CAEXD270995	0,0	24,9	3,1	22,4	11,3	33,7	0	0,0	6,4	27,1
CAEXD271984	15,0	21,8	6,6	2,1	1,4	3,6	0	0,0	35,9	11,5
CAEXD271989	0,0	18,6	2,4	27,4	16,4	43,8	0	0,0	3,4	27,8
CAEXD272982	0,0	22,1	3,0	24,2	13,6	37,8	0	0,0	9,3	22,6
CAEXD273478	0,0	3,8	3,7	20,3	24,1	44,3	0	0,0	1,6	40,5
CAEXD272992	0,0	14,6	1,5	24,0	18,2	42,1	0	0,0	0,0	33,1
CAEXD273489	0,0	29,0	3,5	22,4	13,2	35,6	0	0,0	3,8	23,8
CAEXD273459	0,0	20,0	0,7	21,8	17,5	39,3	0	0,0	0,0	32,1
CAEXD275977	0,0	15,6	2,7	26,5	18,1	44,6	0	0,0	0,0	30,9
AKA14-ENV-059	1,7	13,9	0,6	19,6	20,3	39,8	0	0,0	0,0	30,5
AKA14-ENV-062	0,0	21,5	2,4	24,4	16,0	40,4	0	0,0	3,9	26,2
CAEXD273991	0,0	16,3	4,0	32,3	17,4	49,8	0	0,0	1,3	24,9
AKA14-ENV-070	0,0	12,5	1,6	27,2	20,0	47,1	0	0,0	0,0	31,8

Tableau D. 2 : Basaltes ferro titanifères (unité 2)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA-14-061	0,5	27,5	2,5	17,0	18,0	35,0	0	0,0	0,0	20,2
AKA-14-041	0,0	29,5	2,1	17,8	22,8	40,6	0	0,0	0,0	18,0
CAEXD270999	0,0	34,2	1,5	18,3	20,7	39,0	0	0,0	0,5	16,5
CAEXD271988	0,0	29,0	0,9	16,3	23,2	39,5	0	0,0	1,0	20,2
CAEXD273750	17,2	16,5	12,4	3,0	4,7	7,6	0	0,0	23,5	11,9
CAEXD275982	0,0	29,9	1,0	14,7	18,7	33,4	0	0,0	0,0	19,3

Tableau D. 3 : Andésites (unité 3)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-018	23,7	10,1	36,5	0,76	0,9	1,7	0	0,0	13,2	12,0
CAEXD270979	1,1	12,1	24,8	5,8	11,1	16,9	0	0,0	0,0	34,1
AKA14-ENV-022	28,9	26,7	11,2	3,7	4,4	8,1	0	0,0	3,2	16,2
AKA14-ENV-016	15,7	30,0	4,9	2,2	2,3	4,5	0	0,0	12,9	28,2
AKA14-ENV-020	3,2	18,7	45,1	4,8	5,5	10,2	0	0,0	3,9	14,6
AKA14-ENV-017	18,2	26,2	7,5	0	0	0,0	3,1	0,0	14,9	24,8
AKA14-ENV-019	19,4	6,0	43,3	0	0	0,0	1,3	0,0	14,5	11,1
CAEXD270980	0,0	11,7	56,5	4,8	5,8	10,6	0	0,0	5,3	12,7
CAEXD270981	25,8	47,4	7,5	0,11	0,13	0,2	0	0,0	4,9	10,9
CAEXD270978	14,3	33,4	3,8	2,2	2,3	4,4	0	0,0	14,4	26,4
CAEXD270986	14,2	30,4	2,1	3,3	5,0	8,3	0	0,0	9,0	31,2
CAEXD270987	0,0	37,5	2,2	3,9	13,9	17,8	0	0,0	3,0	34,3
AKA14-ENV-044	19,6	20,1	8,3	0,55	0,54	1,1	0	0,0	16,8	30,8
AKA14-ENV-043	16,3	32,4	3,4	3,1	2,3	5,4	0	0,0	9,7	29,5
AKA14-ENV-045	16,3	28,9	9,2	0,13	0,17	0,3	0	0,0	12,8	29,1
CAEXD271000	20,7	21,8	6,4	0,09	0,08	0,2	0	0,0	16,4	31,8
AKA14-ENV-042	7,7	40,8	4,8	5,3	6,2	11,5	0	0,0	2,8	24,9
CAEXD271976	3,0	36,9	4,3	7,8	9,2	17,0	0	0,0	0,4	34,6
CAEXD273742	24,6	20,6	14,5	2,4	11,9	14,3	0	0,0	1,4	19,8
CAEXD273737	0,9	17,7	51,0	6,3	7,3	13,7	0	0,0	0,0	12,2
CAEXD273735	23,1	24,6	4,9	0,66	0,56	1,2	0	0,0	16,4	27,0
CAEXD273736	8,2	33,6	7,2	5,7	6,2	11,9	0	0,0	2,3	32,4
AKA14-ENV-063	12,2	33,3	7,1	1,7	1,4	3,1	0	0,0	9,3	30,0
CAEXD275983	13,6	28,4	1,5	5,4	5,4	10,7	0	0,0	10,0	32,5

Tableau D. 4 : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-004	37	17	0	0	0	0,0	22	0,6	11	4,9
AKA14-ENV-014	13	44	2	6,62	17,5	24,2	0	0,0	0	10,7
CAEXD270977	51	30	3	0,62	1,92	2,5	0	0,0	4	4,8
CAEXD270988	53	2	20	0	0	0,0	9	0,0	5	5,6
AKA14-ENV-023	19	34	8	0,79	0,52	1,3	0	0,0	18	15,5
AKA14-ENV-024	21	40	6	0	0	0,0	2	0,0	16	9,9
CAEXD272476	20	45	7	0	0	0,0	1	0,0	13	10,4
AKA14-ENV-025	23	34	4	0	0	0,0	16	0,0	16	0,6
AKA14-ENV-030	26	30	1	0	0	0,0	18	0,0	13	7,4
CAEXD270996	18	41	16	0	0	0,0	2	0,0	13	5,4
AKA14-ENV-034	38	23	0	0	0	0,0	21	1,7	12	0,1
AKA14-ENV-036	23	41	6	0	0	0,0	12	0,0	13	1,4
AKA14-ENV-037	27	25	13	0	0	0,0	9	0,0	14	7,8
CAEXD272483	19	37	9	0	0	0,0	0	0,0	17	12,8
CAEXD272484	23	23	13	0	0	0,0	17	0,0	17	3,9
CAEXD272481	19	32	7	0	0	0,0	5	0,0	21	11,7
CAEXD272480	27	43	4	0	0	0,0	11	0,0	11	0,4
CAEXD272493	22	32	7	0	0	0,0	5	0,0	18	11,4
CAEXD272492	32	35	5	0	0	0,0	7	0,0	13	4,0
CAEXD272489	19	33	15	0	0	0,0	0	0,0	17	12,3
CAEXD271987	36	20	10	0	0	0,0	14	0,0	11	0,1
CAEXD271978	11	45	6	0	0	0,0	12	0,0	18	1,5
CAEXD272978	33	13	19	0	0	0,0	16	0,0	13	0,6
AKA14-ENV-049	31	27	3	0	0	0,0	14	0,0	15	4,4
AKA14-ENV-050	29	33	1	0	0	0,0	13	0,0	15	2,8
CAEXD272499	33	26	3	0	0	0,0	14	0,0	15	4,3
CAEXD271995	23	18	11	0	0	0,0	5	0,0	23	15,1
CAEXD271991	28	24	0	0	0	0,0	13	0,1	17	12,7
CAEXD271996	28	39	7	0	0	0,0	14	0,0	8	0,0
CAEXD273477	27	36	11	0	0	0,0	10	0,0	10	0,1
CAEXD272000	33	19	20	0	0	0,0	9	0,0	8	3,2
CAEXD272987	31	8	22	0	0	0,0	14	0,0	17	0,6
CAEXD273482	26	28	1	0	0	0,0	14	0,0	12	14,1
CAEXD273480	23	39	2	0	0	0,0	8	0,0	18	4,3

Tableau D.4. (suite)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AEXD273487	19	24	22	0	0	0,0	9	0,0	13	6,7
CAEXD272993	30	36	15	0	0	0,0	4	0,0	12	0,1
CAEXD273740	35	29	11	0	0	0,0	12	0,0	7	0,5
CAEXD273741	25	20	34	0	0	0,0	2	0,0	8	3,7
CAEXD273726	23	33	2	0	0	0,0	15	0,0	18	5,0
CAEXD273733	23	29	24	0	0	0,0	12	0,0	7	1,4
CAEXD273731	20	23	26	0	0	0,0	14	0,0	10	2,0
CAEXD273455	29	18	1	0	0	0,0	20	0,0	18	8,2
CAEXD273500	33	17	0	0	0	0,0	21	4,7	15	0,1
CAEXD273998	16	33	24	0	0	0,0	2	0,0	17	5,0
CAEXD273995	27	31	2	0	0	0,0	16	0,0	16	2,8
CAEXD273997	30	13	20	0	0	0,0	19	0,0	15	0,1
CAEXD275978	17	18	22	0	0	0,0	3	0,0	23	6,0
CAEXD273747	26	32	0	0	0	0,0	16	2,8	15	3,6
AKA14-ENV-064	34	16	0	0	0	0,0	22	1,5	14	5,8
CAEXD273496	14	28	12	0	0	0,0	1	0,0	25	13,2
CAEXD273497	16	48	2	0	0	0,0	9	0,0	14	1,4
CAEXD273988	27	22	20	0	0	0,0	14	0,0	12	0,1
CAEXD273987	27	23	20	0	0	0,0	5	0,0	12	7,3
AKA14-ENV-071	27	27	3	0	0	0,0	16	0,0	17	3,5

Tableau D. 5 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-006	25,6	23,7	17,8	0	0	0,0	16,6	0,0	11,8	0,1
AKA14-ENV-007	18,6	39,6	17,6	0	0	0,0	2,3	0,0	14,5	4,0
AKA14-ENV-010	11,9	48,2	14,5	3,9	3,8	7,7	0	0,0	7,8	7,1
AKA14-ENV-009	15,8	43,9	15,1	1,4	1,3	2,6	0	0,0	11,1	8,0
AKA14-ENV-008	11,0	48,1	15,2	2,4	2,2	4,6	0	0,0	9,9	8,4
AKA14-ENV-032	27,6	31,3	3,2	0	0	0,0	7,9	0,0	13,8	12,7
AKA14-ENV-033	26,3	32,5	3,4	0	0	0,0	9,9	0,0	14,9	10,0
CAEXD270994	7,5	48,8	4,3	12,8	5,4	18,2	0,0	0,0	4,7	13,9
AKA14-ENV-038	22,4	27,9	18	0	0	0,0	9	0,0	17	1
CAEXD270997	9,3	34,3	31,9	2,71	1,99	4,7	0	0,0	7,7	6,0
AKA14-ENV-040	55,2	10,6	12	0	0	0,0	7	0,0	8	3
AKA14-ENV-039	31,9	31,1	11,9	0	0	0,0	4,05	0,0	10,1	6,0
CAEXD270998	72,2	0,7	9	0	0	0,0	10	0,0	4	1
CAEXD271985	15,9	44,0	17,3	0	0	0,0	1,75	0,0	13,6	2,9
CAEXD271980	21,4	44,5	1,9	1,02	0,81	1,8	0,0	0,0	12,1	14,0
CAEXD272979	21,0	41,4	17,1	0,79	0,68	1,5	0	0,0	10,9	4,1
CAEXD273476	11,1	47,8	18,4	2,41	2,49	4,9	0	0,0	10,5	1,7
CAEXD271999	12,1	45,0	15,2	2,79	2,5	5,3	0	0,0	10,5	8,0
CAEXD271997	20,6	36,5	15,9	0	0	0,0	9,82	0,0	14,0	0,1
CAEXD272990	10,0	50,5	15,2	3,43	3,45	6,9	0	0,0	9,7	4,1
CAEXD272989	14,2	45,2	15,5	2,25	2,07	4,3	0	0,0	10,7	7,2
CAEXD272988	13,4	37,2	25,6	0	0	0,0	3,41	0,0	15,1	1,1
CAEXD273488	24,7	27,9	29,6	0	0	0,0	1,96	0,0	8,7	1,8
CAEXD273485	30,6	11,7	22	0	0	0,0	16	0,0	16	0
AKA14-ENV-055	18,9	20,5	5	2,84	1,33	4,2	0	0,0	38	7
CAEXD273486	0,7	41,8	19,8	2,68	5,4	8,1	0,0	0,0	15,1	5,2
CAEXD272994	21,6	36,4	17,3	0	0	0,0	5,52	0,0	13,8	1,5
CAEXD273739	24,1	29,8	16,9	0	0	0,0	11,89	0,0	12,5	1,1
CAEXD273732	23,1	39,2	17,9	0	0	0,0	3,25	0,0	10,6	2,3
CAEXD273734	21,2	43,9	15,2	1,89	1,7	3,6	0	0,0	9,1	3,1
CAEXD273457	28,0	22,6	23,2	0	0	0,0	11,67	0,0	6,8	0,7
CAEXD274000	17,9	41,7	15,7	0	0	0,0	1,74	0,0	10,6	4,7
AKA14-ENV-056	24,6	32,2	18	1,87	1,21	3,1	0	0,0	14	4
AKA14-ENV-058	25,4	37,4	12,1	0	0	0,0	5,37	0,0	10,2	3,5

Tableau D.5 (suite)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
CAEXD275980	14,9	50,9	9,7	0,15	0,14	0,3	0	0,0	13,8	4,4
CAEXD273745	24,6	40,4	1,4	0	0	0,0	3,9	0,0	13,2	11,7
CAEXD275985	11,9	48,4	15,9	1,3	1,16	2,5	0	0,0	12,4	2,7
CAEXD273499	24,8	34,1	1,8	0	0	0,0	8,4	0,0	12,9	9,2
CAEXD273990	22,6	35,7	18,9	0,43	0,48	0,9	0	0,0	12,1	3,5
CAEXD273989	16,7	43,0	18,4	2,19	2,22	4,4	0	0,0	9,7	4,8
CAEXD273985	14,9	54,3	12,8	0	0	0,0	2,31	0,0	9,9	2,2
CAEXD273986	22,2	38,7	16,4	0,96	1,37	2,3	0	0,0	11,5	4,5
CAEXD273983	24,2	33,9	20,9	0,13	0,16	0,3	0	0,0	11,5	4,4
CAEXD273981	34,8	27,2	15,1	0	0	0,0	7,51	0,0	8,3	2,9
CAEXD273982	16,1	43,9	15,4	2,59	2,38	5,0	0	0,0	9,7	7,2
CAEXD273984	9,4	49,8	18,0	3,27	3,24	6,5	0	0,0	8,2	4,0
AKA14-ENV-082	15,0	39,1	9,8	7,14	3,26	10,4	0,0	0,0	9,1	14,1
AKA14-ENV-085	14,9	40,6	7,9	6,56	3,33	9,9	0,0	0,0	10,4	13,6
AKA14-ENV-084	15,5	34,3	11,6	7,19	4,22	11,4	0,0	0,0	9,4	15,1

Tableau D. 6 : Andésites alcalines (unité 4B)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-031	23	45	0	0	0	0	9	0	12	8
CAEXD270991	22	39	6	0	0	0	6	0	12	10
CAEXD270992	16	53	3	0	0	0	5	0	13	4
CAEXD272478	32	31	0	0	0	0,0	21	0,7	11,1	0
CAEXD271986	20	41	4	0	0	0	5	0	14	11
CAEXD271983	20	49	1	0	0	0	8	0	13	5
CAEXD271994	26	41	1	0	0	0,0	14	0,0	11,4	4
CAEXD271993	33	29	1	0	0	0,0	16	0,0	10,8	7
CAEXD273749	25	39	5	0	0	0,0	14	0,0	11,5	2
CAEXD273494	21	43	9	0	0	0,0	11	0,0	9,2	2
AKA14-ENV-066	26	33	3	0	0	0,0	14	0,0	11,6	8
AKA14-ENV-067	27	38	2	0	0	0,0	14	0,0	12,7	3
AKA14-ENV-068	19	48	3	0	0	0	3	0	12	11
AKA14-ENV-069	17	55	3	0	0	0	2	0	10	8
CAEXD275981	19	47	4	0	0	0	2	0	13	12

Tableau D. 7 : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-003	41,5	14,6	0,0	0	0	0,0	22,8	3,6	8,6	2,7
CAEXD272477	33,0	28,1	3,8	0	0	0,0	9,8	0,0	8,2	14,0
AKA14-ENV-035	33,4	35,2	3,1	0	0	0,0	13,6	0,0	6,5	3,9
CAEXD272491	47,5	2,5	0,0	0	0	0,0	37,6	2,5	5,2	0,1
CAEXD272977	32,7	31,1	0,0	0	0	0,0	16,6	4,5	8,3	1,3
CAEXD272500	25,0	33,5	0,0	0	0	0,0	18,0	2,6	7,7	5,0
CAEXD271998	35,6	25,3	18,7	0	0	0,0	2,12	0,0	9,8	3,5
CAEXD272995	28,6	36,0	11,2	0	0	0,0	5,98	0,0	10,2	4,7
CAEXD272996	30,0	34,1	2,1	0	0	0,0	19,6	0,0	7,9	0,2
CAEXD273738	35,7	13,6	14,1	0	0	0,0	22,5	0,0	6,8	0,7
CAEXD275988	14,0	41,5	8,8	8,1	3,4	11,5	0,0	0,0	7,4	14,5
CAEXD273493	18,6	41,3	5,1	0	0	0,0	13,6	0,0	7,9	10,0
CAEXD273492	25,9	30,3	8,0	0	0	0,0	3,95	0,0	15,3	13,5
CAEXD275984	19,0	27,8	17,6	4,4	2,2	6,6	0	0,0	12,0	14,2
AKA14-ENV-079	20,7	50,8	1,3	0	0	0,0	3,7	0,0	10,0	9,3
AKA14-ENV-078	22,2	38,2	1,5	0	0	0,0	13,7	0,0	9,7	6,6

Tableau D. 8 : Intrusions dacitiques (unité 5A)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-005	30,0	35,4	5,9	0	0	0,0	16,8	0,0	8,4	0,1
CAEXD270982	19,6	37,6	10,5	3,5	1,8	5,3	0,0	0,0	10,5	14,2
CAEXD270985	5,0	50,4	7,2	0,52	0,44	1,0	0,0	0,0	6,9	25,3
CAEXD272482	23,2	29,5	16,2	0	0	0,0	10,8	0,0	10,2	2,4
CAEXD272495	31,0	37,2	1,6	0	0	0,0	7,9	0,0	13,1	4,2
CAEXD272494	29,6	32,3	11,8	0	0	0,0	4,4	0,0	11,8	5,5
CAEXD271982	26,4	41,7	0,0	0	0	0,0	10,1	1,8	12,0	5,9
CAEXD272980	33,3	40,1	3,0	0	0	0,0	4,0	0,0	11,2	4,8
CAEXD271992	27,5	38,0	0,0	0	0	0,0	9,5	2,8	12,9	6,2
CAEXD272991	29,9	30,7	7,7	0	0	0,0	13,0	0,0	10,7	1,4
CAEXD272985	31,8	29,4	0,0	0	0	0,0	7,4	7,1	14,5	6,6
CAEXD272986	30,6	30,7	3,1	0	0	0,0	21,3	0,0	10,9	0,1
CAEXD273484	29,1	32,5	11,3	0	0	0,0	14,2	0,0	10,0	0,1
CAEXD273483	30,2	36,6	3,0	0	0	0,0	17,4	0,0	8,5	1,1
CAEXD273490	11,9	55,7	7,5	5,0	3,4	8,4	0,0	0,0	5,5	8,9
CAEXD273730	38,0	5,4	11,5	0	0	0,0	33,9	0,0	7,0	0,1
CAEXD273458	17,5	45,1	11,1	2,1	1,5	3,6	0,0	0,0	9,3	11,0
CAEXD273999	19,2	43,0	16,6	0	0	0,0	3,1	0,0	12,5	2,4
CAEXD275976	23,3	40,6	7,2	0	0	0,0	4,5	0,0	13,8	5,5
CAEXD273996	36,5	20,8	0,0	0	0	0,0	20,9	6,2	8,9	0,1
AKA14-ENV-057	27,3	36,7	11,1	0	0	0,0	9,7	0,0	8,6	1,9
CAEXD275979	26,4	35,1	12,0	0	0	0,0	10,2	0,0	10,8	0,5
CAEXD275987	9,7	58,2	4,8	2,1	1,3	3,3	0,0	0,0	12,5	6,0
AKA14-ENV-060	18,0	42,0	3,6	2,8	1,2	3,9	0,0	0,0	14,2	11,3
CAEXD273748	31,0	36,4	1,1	0	0	0,0	16,1	0,0	9,5	2,1
CAEXD273495	24,5	45,1	5,6	0	0	0,0	4,2	0,0	7,9	10,0
CAEXD273978	27,6	38,7	0,3	0	0	0,0	19,3	0,0	10,8	0,4
CAEXD273980	19,9	14,8	35,6	0	0	0,0	11,2	0,0	11,5	0,6
CAEXD273979	31,6	13,3	19,3	0	0	0,0	15,2	0,0	16,4	0,1
AKA14-ENV-083	17,1	43,3	7,9	6,1	3,2	9,4	0,0	0,0	6,5	13,8
AKA14-ENV-081	17,8	41,0	8,3	5,2	2,8	8,0	0,0	0,0	8,1	14,8
AKA14-ENV-086	17,0	40,2	8,8	5,9	3,1	9,0	0,0	0,0	7,6	15,4

Tableau D. 9 : Andésites alcalines (unité 5B)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
AKA14-ENV-001	39,1	13,7	0,0	0	0	0,0	25,5	2,4	4,2	4,2
AKA14-ENV-002	36,9	32,8	0,0	0	0	0,0	12,1	4,9	4,8	4,0
AKA14-ENV-026	24,9	41,3	1,5	0	0	0,0	7,0	0,0	8,9	13,7
AKA14-ENV-027	25,0	40,3	0,3	0	0	0,0	10,6	0,0	7,4	12,9
AKA14-ENV-028	30,1	35,7	3,0	0	0	0,0	9,0	0,0	7,3	11,1
CAEXD270989	21,7	38,2	1,1	0	0	0,0	14,8	0,0	11,8	7,9
AKA14-ENV-029	26,7	40,8	2,2	0	0	0,0	8,9	0,0	7,7	9,3
CAEXD272479	33,1	47,0	0,2	0	0	0,0	11,1	0,0	4,2	1,8
CAEXD272485	24,3	34,4	0,0	0	0	0,0	23,7	0,7	6,9	0,5
CAEXD272486	22,7	44,4	2,2	0	0	0,0	8,2	0,0	8,3	11,4
CAEXD272487	25,1	44,4	0,0	0	0	0,0	7,3	5,2	7,2	6,7
CAEXD272488	20,1	54,6	0,0	0	0	0,0	6,1	1,4	5,7	8,7
CAEXD272490	23,4	48,0	0,5	0	0	0,0	10,7	0,0	4,7	10,7
CAEXD272496	24,6	40,8	2,5	0	0	0,0	9,6	0,0	9,3	6,3
CAEXD272497	33,0	33,9	2,9	0	0	0,0	12,3	0,0	6,4	7,5
CAEXD271977	23,4	39,3	0,0	0	0	0,0	16,9	2,3	7,3	3,9
CAEXD271979	23,8	46,8	1,2	0	0	0,0	6,4	0,0	8,4	10,5
CAEXD271981	45,6	19,7	0,0	0	0	0,0	21,0	0,7	5,6	3,4
AKA14-ENV-046	19,7	55,7	0,0	0	0	0,0	7,6	0,4	6,7	5,2
CAEXD272498	17,5	50,2	0,0	0	0	0,0	7,6	10,3	7,2	3,6
AKA14-ENV-047	23,9	40,3	0,0	0	0	0,0	10,7	3,8	7,1	9,0
AKA14-ENV-048	18,9	52,3	0,0	0	0	0,0	6,4	3,1	7,5	7,5
CAEXD272976	29,4	47,7	0,6	0	0	0,0	6,8	0,0	5,8	7,8
CAEXD272981	19,0	43,3	4,2	0	0	0,0	15,9	0,0	8,9	6,3
CAEXD271990	18,9	48,9	0,0	0	0	0,0	9,7	1,3	10,3	6,1
CAEXD272983	21,8	45,7	0,6	0	0	0,0	6,9	0,0	9,3	13,4
CAEXD272984	32,6	23,4	0,0	0	0	0,0	17,5	4,1	8,8	8,3
AKA14-ENV-051	22,5	46,8	0,2	0	0	0,0	12,3	0,0	6,0	7,5
AKA14-ENV-052	25,0	39,8	0,0	0	0	0,0	8,8	0,5	6,5	16,4
AKA14-ENV-053	21,0	47,5	0,0	0	0	0,0	8,0	1,7	6,8	10,5
CAEXD273479	18,4	49,9	0,0	0	0	0,0	8,9	2,6	8,0	7,6
AKA14-ENV-054	21,2	47,9	0,0	0	0	0,0	10,2	3,7	7,0	4,0
CAEXD273481	21,6	40,5	4,4	0	0	0,0	8,3	0,0	8,4	13,1
CAEXD272997	22,9	45,9	2,1	0	0	0,0	7,3	0,0	9,9	8,8

Tableau D.9 (suite)

No. Échant.	Quartz	Albite	Orthose	Trémolite	Actinote	Amphib. Totale	Séricite	Paragonite	Chlorite	Épidote
CAEXD272998	29,5	30,8	0,0	0	0	0,0	14,5	3,8	8,0	3,5
CAEXD272999	19,2	52,4	0,0	0	0	0,0	9,8	2,2	5,6	6,8
CAEXD273000	22,2	46,7	0,0	0	0	0,0	9,7	2,8	7,9	6,6
CAEXD273727	16,7	54,5	4,1	0	0	0,0	0,8	0,0	8,5	13,0
CAEXD273728	34,3	34,9	0,0	0	0	0,0	13,9	2,1	7,0	4,5
CAEXD273729	29,7	17,7	0,0	0	0	0,0	28,1	3,4	14,4	3,8
CAEXD273451	17,0	48,5	0,0	0	0	0,0	7,2	6,0	9,9	5,2
CAEXD273452	21,4	43,1	0,0	0	0	0,0	12,4	5,8	7,5	6,3
CAEXD273453	18,8	53,5	0,0	0	0	0,0	10,2	0,1	7,3	6,6
CAEXD273454	11,1	52,3	4,4	0	0	0,0	7,2	0,0	12,0	9,9
CAEXD273456	23,3	40,8	11,5	0	0	0,0	7,3	0,0	13,6	0,7
CAEXD273993	19,0	52,9	0,0	0	0	0,0	10,8	2,0	6,6	4,6
CAEXD273994	22,8	39,6	2,1	0	0	0,0	11,0	0,0	9,2	11,5
CAEXD273743	25,5	41,9	0,0	0	0	0,0	6,8	8,5	8,8	2,5
CAEXD273744	26,2	46,5	0,0	0	0	0,0	5,8	2,9	5,2	9,4
CAEXD273746	34,9	47,2	0,0	0	0	0,0	5,8	0,5	5,0	3,5
CAEXD275986	37,5	23,4	20,6	0	0	0,0	4,6	0,0	8,4	2,0
AKA14-ENV-065	27,4	48,0	0,1	0	0	0,0	11,8	0,0	6,1	3,1
CAEXD273491	27,1	43,5	1,6	0	0	0,0	14,4	0,0	6,3	3,2
CAEXD273498	16,3	44,6	0,0	0	0	0,0	16,1	3,8	9,3	1,9
CAEXD273976	27,1	30,8	0,0	0	0	0,0	18,5	1,1	8,7	8,3
CAEXD273977	36,8	19,2	0,0	0	0	0,0	17,2	1,5	13,6	8,8
AKA14-ENV-072	23,2	41,0	0,5	0	0	0,0	11,0	0,0	9,0	12,4
AKA14-ENV-073	26,1	42,2	1,3	0	0	0,0	4,5	0,0	8,5	15,0
AKA14-ENV-074	19,5	48,2	0,0	0	0	0,0	10,0	0,8	9,0	8,5
AKA14-ENV-075	27,2	40,2	1,3	0	0	0,0	13,0	0,0	6,1	7,3
AKA14-ENV-076	24,7	41,2	0,0	0	0	0,0	9,3	5,2	6,9	7,3
AKA14-ENV-077	18,9	45,3	0,0	0	0	0,0	12,5	3,1	9,8	3,9
AKA14-ENV-080	22,0	42,8	3,3	0	0	0,0	4,7	0,0	8,5	16,1

Tableau D.1 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérîte	Magnésite	Sidérîte	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-015	2,4	0	0	0	0	0,25	0,12	0,0	2,1	0,0
AKA14-ENV-021	1,4	0	0	0	0	0,2	0,19	0,0	2,3	0,0
AKA14-ENV-011	7,5	0	0	0	0	0,27	0,14	3,7	0,0	0,0
AKA14-ENV-013	2,7	0	0	0	0	0	0,11	0,0	2,0	0,0
AKA14-ENV-012	3,3	0	0	0	0	0,25	0,09	0,0	2,0	0,0
CAEXD270976	4,9	0	0	0	0	0,28	0,11	0,0	1,8	0,0
CAEXD270983	1,2	0	0	0	0	0,31	0,06	0,0	1,6	0,0
CAEXD270984	20,4	0	0	0	0	0,26	0,1	2,3	0,0	0,0
CAEXD270993	0,6	0	0	0	0	0,25	0,07	0,0	1,7	0,0
CAEXD270995	0,5	0	0	0	0	0,19	0,14	0,0	2,2	0,0
CAEXD271984	0,0	0	0	0	0	0	0,15	0,0	2,5	0,0
CAEXD271989	0,0	0	0	0	0	0	0,1	0,0	1,9	0,0
CAEXD272982	0,9	0	0	0	0	0,22	0,1	0,0	1,9	0,0
CAEXD273478	0,9	0	0	0	0	0,21	0,11	0,0	2,0	0,0
CAEXD272992	4,2	0	0	0	0	0,27	0,11	0,0	2,0	0,0
CAEXD273489	0,3	0	0	0	0	0,2	0,12	0,0	2,1	0,0
CAEXD273459	3,6	0	0	0	0	0,25	0,11	0,0	2,1	0,0
CAEXD275977	1,9	0	0	0	0	0,22	0,12	0,0	1,9	0,0
AKA14-ENV-059	8,9	0	0	0	0	0,34	0,12	0,0	1,8	0,0
AKA14-ENV-062	1,4	0	0	0	0	0,22	0,07	0,0	1,7	0,0
CAEXD273991	0,0	0	0	0	0	0	0,07	0,0	1,6	0,0
AKA14-ENV-070	2,3	0	0	0	0	0,24	0,11	0,0	1,8	0,0

Tableau D.2 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA-14-061	5,6	0	0	0	0	0,24	0,26	4,0	0,0	0,0
AKA-14-041	1,8	0	0	0	0	0,25	0,27	0,0	5,0	0,0
CAEXD270999	0,0	0	0	0	0	0	0,31	0,0	5,7	0,0
CAEXD271988	1,1	0	0	0	0	0,24	0,25	0,0	5,3	0,0
CAEXD273750	0,0	0	0	0	0	0	0,35	5,3	0,0	0,0
CAEXD275982	5,6	0	0	0	0	0,22	0,27	4,4	0,0	0,0

Tableau D. 3 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-018	0,0	0	0	0	0	0	0,19	0,0	1,1	0,0
CAEXD270979	3,4	0	0	0	0	0,13	0,19	3,0	0,0	0,0
AKA14-ENV-022	2,0	0	0	0	0	0,07	0,21	1,6	0,0	0,0
AKA14-ENV-016	0,8	0	0	0	0	0,08	0,21	0,0	1,0	0,0
AKA14-ENV-020	1,1	0	0	0	0	0,03	0,17	1,7	0,0	0,0
AKA14-ENV-017	2,7	0	0	0	0	0,05	0,19	0,0	1,2	0,0
AKA14-ENV-019	1,8	0	0	0	0	0,05	0,17	0,0	1,0	0,0
CAEXD270980	0,2	0	0	0	0	0,06	0,18	1,9	0,0	0,0
CAEXD270981	1,6	0	0	0	0	0,03	0,18	0,8	0,0	0,0
CAEXD270978	0,6	0	0	0	0	0,1	0,21	0,0	1,1	0,0
CAEXD270986	1,3	0	0	0	0	0,1	0,2	2,4	0,0	0,0
CAEXD270987	0,6	0	0	0	0	0,13	0,21	3,2	0,0	0,0
AKA14-ENV-044	0,1	0	0	0	0	0,1	0,19	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-043	0,6	0	0	0	0	0,1	0,19	0,0	1,0	0,0
AKA14-ENV-045	0,6	0	0	0	0	0,06	0,17	0,0	1,1	0,0
CAEXD271000	0,0	0	0	0	0	0	0,18	0,0	1,2	0,0
AKA14-ENV-042	3,6	0	0	0	0	0,1	0,17	1,8	0,0	0,0
CAEXD271976	1,0	0	0	0	0	0,16	0,24	0,0	1,3	0,0
CAEXD273742	1,3	0	0	0	0	0,13	0,13	2,5	0,0	0,0
CAEXD273737	1,8	0	0	0	0	0,11	0,22	1,5	0,0	0,0
CAEXD273735	0,1	0	0	0	0	0,11	0,22	0,0	1,1	0,0
CAEXD273736	1,9	0	0	0	0	0,15	0,22	0,0	1,3	0,0
AKA14-ENV-063	2,4	0	0	0	0	0,08	0,16	0,0	1,1	0,0
CAEXD275983	0,4	0	0	0	0	0,11	0,18	0,0	1,2	0,0

Tableau D.4 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-004	37	17	0	0	0	0,0	22	0,6	1,0	0,0
AKA14-ENV-014	13	44	2	6,62	17,5	24,2	0	0,0	0,0	0,0
CAEXD270977	51	30	3	0,62	1,92	2,5	0	0,0	0,0	0,0
CAEXD270988	3,4	0	0	0	0	0,05	0,16	0,9	0,0	0,0
AKA14-ENV-023	0,4	0	0	0	0	0,03	0,33	0,0	1,5	0,0
AKA14-ENV-024	0,6	0	0	0	0	0,05	0,4	0,0	1,6	0,0
CAEXD272476	0,9	0	0	0	0	0,05	0,38	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-025	3,2	0	0	0	0	0,03	0,4	0,0	1,5	0,0
AKA14-ENV-030	0,0	0	0	0	0	0	0,31	0,0	2,2	0,0
CAEXD270996	0,6	0	0	0	0	0,05	0,5	0,0	1,2	0,0
CAEXD270992										
AKA14-ENV-034	0,0	0	0	0	0	0	0,42	0,0	1,3	0,0
AKA14-ENV-036	0,0	0	0	0	0	0	0,31	0,0	1,5	0,0
AKA14-ENV-037	0,9	0	0	0	0	0,01	0,29	0,0	1,4	0,0
CAEXD272483	1,8	0	0	0	0	0,05	0,36	0,0	1,3	0,0
CAEXD272484	0,4	0	0	0	0	0,03	0,34	0,0	1,4	0,0
CAEXD272481	0,6	0	0	0	0	0,05	0,33	0,0	1,5	0,0
CAEXD272480	0,0	0	0	0	0	0	0,39	0,0	1,3	0,0
CAEXD272493	1,3	0	0	0	0	0,03	0,27	0,0	1,4	0,0
CAEXD272492	1,8	0	0	0	0	0,05	0,34	0,0	1,2	0,0
CAEXD272489	0,0	0	0	0	0	0	0,39	0,0	1,6	0,0
CAEXD271987	4,1	0,11	0,08	0	0	0,03	0,43	0,0	0,0	0,4
CAEXD271978	2,7	0	0	0	0	0,05	0,37	0,0	1,6	0,0
CAEXD272978	0,0	0	0	0	0	0	0,47	2,2	0,0	0,0
AKA14-ENV-049	2,7	0	0	0	0	0,07	0,33	0,0	1,4	0,0
AKA14-ENV-050	2,5	0	0	0	0	0,06	0,31	0,0	1,4	0,0
CAEXD272499	2,2	0	0	0	0	0,08	0,37	0,0	1,4	0,0
CAEXD271995	0,0	0	0	0	0	0	0,28	0,0	1,1	0,0
CAEXD271991	0,8	0	0	0	0	0,11	0,33	0,0	1,9	0,0
CAEXD271996	0,0	0	0	0	0	0	0,37	0,0	1,4	0,0
CAEXD273477	0,2	2,96	0,93	0	0	0,02	0,39	0,0	0,0	0,5
CAEXD272000	0,0	0	0	0	0	0	0,33	2,2	0,0	0,0
CAEXD272987	0,0	0	0	0	0	0	0,05	3,7	0,0	0,0
CAEXD273482	0,0	0	0	0	0	0	0,32	0,0	2,5	0,0
CAEXD273480	1,7	0	0	0	0	0,1	0,34	0,0	1,6	0,0

Tableau D.4 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérîte	Magnésite	Sidérîte	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
CAEXD273487	3,1	0	0	0	0	0,07	0,55	0,0	1,3	0,0
CAEXD272993	0,0	0	0	0	0	0	0,28	0,0	0,6	0,2
CAEXD273740	0,0	0	0	0	0	0	0,43	0,0	0,9	0,0
CAEXD273741	0,2	0	0	0	0	0,03	0,47	0,0	1,0	0,0
CAEXD273726	1,3	0	0	0	0	0,08	0,36	0,0	1,5	0,0
CAEXD273733	0,2	0	0	0	0	0,02	0,18	1,6	0,0	0,0
CAEXD273731	0,0	0	0	0	0	0	0,31	2,0	0,0	0,0
CAEXD273455	2,0	0	0	0	0	0,05	0,32	0,0	1,8	0,0
CAEXD273500	2,2	2,6	2,5	0	0	0,13	0,37	0,0	0,0	0,6
CAEXD273998	0,0	0	0	0	0	0	0,28	0,0	1,0	0,0
CAEXD273995	1,3	0	0	0	0	0,08	0,32	0,0	1,5	0,0
CAEXD273997	0,0	0	0	0	0	0	0,34	0,0	0,3	0,4
CAEXD275978	6,7	0	0	0	0	0,1	0,85	0,0	1,7	0,0
CAEXD273747	0,0	0	0	0	0	0	0,33	0,0	2,1	0,0
AKA14-ENV-064	0,2	0	0	0	0	0,01	0,31	0,0	1,7	0,0
CAEXD273496	2,0	0	0	0	0	0,1	0,54	0,0	2,1	0,0
CAEXD273497	6,8	0	0	0	0	0,08	0,55	0,0	1,1	0,0
CAEXD273988	0,0	0	0	0	0	0	0,45	0,0	1,0	0,1
CAEXD273987	4,3	0	0	0	0	0,07	0,45	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-071	2,7	0	0	0	0	0,08	0,35	0,0	1,5	0,0

Tableau D. 5 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-006	0,0	0	0	0	0	0	0,4	0,0	0,7	0,1
AKA14-ENV-007	0,0	0	0	0	0	0	0,47	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-010	0,0	0	0	0	0	0	0,5	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-009	0,4	0	0	0	0	0,05	0,5	0,0	1,2	0,0
AKA14-ENV-008	0,0	0	0	0	0	0	0,52	0,0	1,2	0,0
AKA14-ENV-032	0,2	0	0	0	0	0,01	0,31	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-033	0,0	0	0	0	0	0	0,24	0,0	1,0	0,0
CAEXD270994	0,4	0	0	0	0	0,1	0,31	0,0	0,9	0,0
CAEXD270990	0,2	0	0	0	0	0,05	0,25	0,0	1,0	0,0
AKA14-ENV-038	0,0	0	0	0	0	0	0,52	0,0	1,2	0,0
CAEXD270997	3,6	0	0	0	0	0,07	0,19	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-040	1,1	0	0	0	0	0,01	0,26	1,5	0,0	0,0
AKA14-ENV-039	1,6	0	0	0	0	0,03	0,31	0,0	0,9	0,0
CAEXD270998	2,0	0	0	0	0	0,05	0,17	0,8	0,0	0,0
CAEXD271985	1,8	0	0	0	0	0,05	0,47	0,0	1,1	0,0
CAEXD271980	2,0	0	0	0	0	0,07	0,31	0,0	1,0	0,0
CAEXD272979	1,3	0	0	0	0	0,05	0,42	0,0	1,1	0,0
CAEXD273476	2,5	0	0	0	0	0,07	0,48	0,0	1,1	0,0
CAEXD271999	0,8	0	0	0	0	0,1	0,53	0,0	1,2	0,0
CAEXD271997	0,0	0	0	0	0	0	0,49	0,0	1,2	0,0
CAEXD272990	0,6	0	0	0	0	0,07	0,53	0,0	1,2	0,0
CAEXD272989	0,0	0	0	0	0	0	0,51	0,0	1,2	0,0
CAEXD272988	0,0	0	0	0	0	0	0,33	0,0	1,5	0,0
CAEXD273488	1,1	0	0	0	0	0,03	0,41	0,0	1,0	0,0
CAEXD273485	0,0	0	0	0	0	0	0,77	0,0	0,9	0,1
AKA14-ENV-055	1,5	0	0	0	0	0,16	0,24	0,0	1,3	0,0
CAEXD273486	4,2	0	0	0	0	0,11	0,45	3,5	0,0	0,0
CAEXD272994	0,0	0	0	0	0	0	0,49	0,0	1,2	0,0
CAEXD273739	0,0	0	0	0	0	0	0,46	0,0	1,2	0,0
CAEXD273732	0,0	0	0	0	0	0	0,33	0,0	1,0	0,0
CAEXD273734	1,5	0	0	0	0	0,07	0,43	0,0	1,0	0,0
CAEXD273457	0,9	0	0	0	0	0,02	0,32	0,0	0,9	0,0
CAEXD274000	4,7	0	0	0	0	0,07	0,41	1,6	0,0	0,0
AKA14-ENV-056	0,9	0	0	0	0	0,05	0,66	0,0	1,4	0,0
AKA14-ENV-058	3,6	0	0	0	0	0,01	0,4	0,0	0,9	0,0
CAEXD275980	3,1	0	0	0	0	0,06	0,53	0,0	1,1	0,0

Tableau D.5 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
CAEXD275980	3,1	0	0	0	0	0,06	0,53	0,0	1,1	0,0
CAEXD273745	2,2	0	0	0	0	0,05	0,33	0,0	1,0	0,0
CAEXD275985	3,3	0	0	0	0	0,1	0,51	0,0	1,2	0,0
CAEXD273499	5,6	0	0	0	0	0,07	0,44	0,0	1,1	0,0
CAEXD273990	2,7	0	0	0	0	0,03	0,42	0,0	1,0	0,0
CAEXD273989	0,2	0	0	0	0	0,05	0,46	0,0	1,1	0,0
CAEXD273745	2,2	0	0	0	0	0,05	0,33	0,0	1,0	0,0
CAEXD273985	1,8	0	0	0	0	0,03	0,37	0,0	0,9	0,0
CAEXD273986	1,1	0	0	0	0	0,05	0,41	0,0	1,0	0,0
CAEXD273983	1,1	0	0	0	0	0,03	0,32	0,0	0,9	0,0
CAEXD273981	1,1	0	0	0	0	0,02	0,32	0,0	1,0	0,0
CAEXD273982	0,0	0	0	0	0	0	0,5	0,0	1,1	0,0
CAEXD273984	1,3	0	0	0	0	0,08	0,49	0,0	1,2	0,0
AKA14-ENV-082	0,2	0	0	0	0	0,06	0,33	0,0	1,0	0,0
AKA14-ENV-085	0,0	0	0	0	0	0	0,35	0,0	1,0	0,0
AKA14-ENV-084	0,0	0	0	0	0	0	0,47	0,0	1,1	0,0

Tableau D.6 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-031	0	0	0	0	0	0,01	0,47	0,0	1,6	0,0
CAEXD270991	0	0	0	0	0	0,03	0,43	0,0	1,4	0,0
CAEXD270992	3	0	0	0	0	0,07	0,37	0,0	1,2	0,0
CAEXD272478	0	0	0	0	0	0	0,47	0,0	0,7	0,3
CAEXD271986	2	0	0	0	0	0,07	0,45	0,0	1,5	0,0
CAEXD271983	0	0	0	0	0	0	0,4	0,0	1,5	0,0
CAEXD271994	0	0	0	0	0	0,02	0,44	0,0	1,5	0,0
CAEXD271993	1	0	0	0	0	0,02	0,41	0,0	1,4	0,0
CAEXD273749	1	0	0	0	0	0,02	0,42	0,0	1,4	0,0
CAEXD273494	3	0	0	0	0	0,02	0,33	0,0	1,4	0,0
AKA14-ENV-066	1	0	0	0	0	0,01	0,42	0,0	1,5	0,0
AKA14-ENV-067	0	0	0	0	0	0,01	0,4	0,0	1,4	0,0
AKA14-ENV-068	1	0	0	0	0	0,06	0,49	0,0	1,5	0,0
AKA14-ENV-069	2	0	0	0	0	0,05	0,38	0,0	1,4	0,0
CAEXD275981	0	0	0	0	0	0,08	0,47	0,0	1,5	0,0

Tableau D.7 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-003	0,0	0	0	0	0	0	0,24	0,0	0,8	0,0
CAEXD272477	0,87	0	0	0	0	0,05	0,25	0,0	0,9	0,0
AKA14-ENV-035	0,67	0	0	0	0	0,01	0,19	0,0	0,6	0,0
CAEXD272491	0,0	0,54	0,99	0,1	0,21	0,02	0,93	1,1	0,0	0,0
CAEXD272977	0,0	0	0	0	0	0	0,42	0,0	0,8	0,0
CAEXD272500	6,8	0	0	0	0	0,03	0,16	0,0	0,7	0,0
CAEXD271998	1,1	0	0	0	0	0,02	0,31	1,7	0,0	0,0
CAEXD272995	0,89	0	0	0	0	0,02	0,25	0,0	0,9	0,0
CAEXD272996	4,5	0	0	0	0	0,03	0,24	0,0	0,7	0,0
CAEXD273738	0,0	0	0	0	0	0	0,28	2,0	0,0	0,0
CAEXD275988	0,38	0	0	0	0	0,08	0,31	0,0	0,8	0,0
CAEXD273493	1,8	0	0	0	0	0,02	0,16	0,0	0,7	0,0
CAEXD273492	0,0	0	0	0	0	0	0,34	0,0	0,9	0,0
CAEXD275984	0,63	0	0	0	0	0,07	0,3	0,0	0,8	0,0
AKA14-ENV-079	2,3	0	0	0	0	0,03	0,24	0,0	0,8	0,0
AKA14-ENV-078	6,1	0	0	0	0	0,05	0,21	0,0	0,9	0,0

Tableau D. 8 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-005	0,5	0	0	0	0	0,01	0,43	0,0	0,6	0,1
CAEXD270982	0,0	0	0	0	0	0	0,32	0,0	0,9	0,0
CAEXD270985	2,5	0	0	0	0	0,05	0,18	0,0	1,0	0,0
CAEXD272482	5,0	0	0	0	0	0,03	0,24	0,0	0,8	0,0
CAEXD272495	3,2	0	0	0	0	0,02	0,31	0,0	0,8	0,0
CAEXD272494	2,9	0	0	0	0	0,03	0,27	0,0	0,8	0,0
CAEXD271982	0,0	0	0	0	0	0	0,41	0,0	0,8	0,0
CAEXD272980	1,6	0	0	0	0	0,02	0,27	0,0	0,7	0,0
CAEXD271992	0,9	0	0	0	0	0,02	0,42	0,0	0,8	0,0
CAEXD272991	5,0	0	0	0	0	0,03	0,23	0,0	0,7	0,0
CAEXD272985	0,9	0	0	0	0	0,05	0,34	0,0	1,0	0,0
AKA14-ENV-005	0,5	0	0	0	0	0,01	0,43	0,0	0,6	0,1
CAEXD270982	0,0	0	0	0	0	0	0,32	0,0	0,9	0,0
CAEXD272986	0,4	0,11	0,14	0	0	0,02	0,08	0,0	0,0	0,3
CAEXD273484	0,0	0	0	0	0	0	0,42	0,0	0,8	0,0
CAEXD273483	0,2	0	0	0	0	0,02	0,34	0,0	0,8	0,0
CAEXD273490	0,0	0	0	0	0	0	0,39	0,0	0,9	0,0
CAEXD273730	0,0	0,1	0,14	0,34	0,54	0,02	0,11	0,0	0,0	0,4
CAEXD273458	0,4	0	0	0	0	0,08	0,4	0,0	0,8	0,0
CAEXD273999	1,1	0	0	0	0	0,03	0,29	0,0	0,9	0,0
CAEXD275976	2,9	0	0	0	0	0,03	0,34	0,0	0,9	0,0
CAEXD273996	0,0	1,3	2,2	0,13	0,25	0,02	0,39	1,7	0,0	0,0
AKA14-ENV-057	2,3	0	0	0	0	0,01	0,33	0,0	0,8	0,0
CAEXD275979	2,9	0	0	0	0	0,03	0,37	0,0	0,8	0,0
CAEXD275987	3,3	0	0	0	0	0,1	0,3	0,0	0,9	0,0
AKA14-ENV-060	4,7	0	0	0	0	0,1	0,3	0,0	0,9	0,0
CAEXD273748	0,0	0	0	0	0	0	0,38	0,0	0,8	0,0
CAEXD273495	1,1	0	0	0	0	0,03	0,23	0,0	0,6	0,0
CAEXD273978	0,4	0	0	0	0	0,02	0,43	0,0	0,8	0,0
CAEXD273980	0,0	0	0	0	0	0	0,91	2,8	0,0	0,0
CAEXD273979	0,0	0	0	0	0	0	0,35	0,0	0,3	0,2
AKA14-ENV-083	0,0	0	0	0	0	0	0,28	0,0	0,9	0,0
AKA14-ENV-081	0,0	0	0	0	0	0	0,31	0,0	0,8	0,0
AKA14-ENV-086	0,0	0	0	0	0	0	0,28	0,0	0,9	0,0

Tableau D.9 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
AKA14-ENV-001	0,9	0	0	0	0	0,01	0,17	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-002	0,5	0	0	0	0	0,01	0,21	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-026	0,9	0	0	0	0	0,05	0,19	0,0	0,8	0,0
AKA14-ENV-027	1,8	0	0	0	0	0,02	0,16	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-028	2,0	0	0	0	0	0,01	0,21	0,0	0,8	0,0
CAEXD270989	2,5	0	0	0	0	0,05	0,22	0,0	0,8	0,0
AKA14-ENV-029	1,4	0	0	0	0	0,02	0,19	0,0	0,7	0,0
CAEXD272479	0,0	0	0	0	0	0	0,21	0,0	0,7	0,0
CAEXD272485	8,2	0	0	0	0	0,05	0,15	0,0	0,7	0,0
CAEXD272486	0,9	0	0	0	0	0,03	0,18	0,0	0,7	0,0
CAEXD272487	2,7	0	0	0	0	0,03	0,17	0,0	0,7	0,0
CAEXD272488	2,3	0	0	0	0	0,03	0,14	0,0	0,6	0,0
CAEXD272490	0,9	0	0	0	0	0,02	0,12	0,0	0,5	0,0
CAEXD272496	5,2	0	0	0	0	0,03	0,20	0,0	0,8	0,0
CAEXD272497	2,5	0	0	0	0	0,03	0,23	0,0	0,6	0,0
CAEXD271977	5,7	0	0	0	0	0,03	0,13	0,0	0,6	0,0
CAEXD271979	1,1	0	0	0	0	0,05	0,21	0,0	0,8	0,0
CAEXD271981	2,3	0	0	0	0	0,02	0,20	0,9	0,0	0,0
AKA14-ENV-046	2,3	0	0	0	0	0,01	0,17	0,0	0,6	0,0
CAEXD272498	2,3	0	0	0	0	0,03	0,12	0,0	0,5	0,0
AKA14-ENV-047	3,2	0	0	0	0	0,02	0,14	0,0	0,6	0,0
AKA14-ENV-048	2,5	0	0	0	0	0,02	0,14	0,0	0,6	0,0
CAEXD272976	0,7	0	0	0	0	0,02	0,16	0,0	0,5	0,0
CAEXD272981	0,2	0	0	0	0	0,02	0,22	0,0	0,8	0,0
CAEXD271990	2,9	0	0	0	0	0,05	0,21	0,0	0,8	0,0
CAEXD272983	0,6	0	0	0	0	0,07	0,20	0,0	0,8	0,0
CAEXD272984	3,6	0	0	0	0	0,03	0,17	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-051	2,0	0	0	0	0	0,01	0,17	0,0	0,6	0,0
AKA14-ENV-052	1,8	0	0	0	0	0,03	0,12	0,0	0,5	0,0
AKA14-ENV-053	2,5	0	0	0	0	0,02	0,14	0,0	0,6	0,0
CAEXD273479	2,9	0	0	0	0	0,03	0,15	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-054	4,1	0	0	0	0	0,02	0,16	0,0	0,6	0,0
CAEXD273481	1,1	0	0	0	0	0,05	0,20	0,0	0,8	0,0
CAEXD272997	1,3	0	0	0	0	0,03	0,20	0,0	0,8	0,0
CAEXD272998	8,4	0	0	0	0	0,07	0,18	0,0	0,7	0,0

Tableau D.9 (suite)

No. Échant.	Calcite	Dolomite	Ankérite	Magnésite	Sidérite	Rhodocr.	Apatite	Magnétite	Titanite	Rutile
CAEXD272999	2,9	0	0	0	0	0,03	0,11	0,0	0,5	0,0
CAEXD273000	2,7	0	0	0	0	0,03	0,15	0,0	0,6	0,0
CAEXD273727	0,9	0	0	0	0	0,05	0,18	0,0	0,7	0,0
CAEXD273728	2,0	0	0	0	0	0,02	0,19	0,0	0,5	0,0
CAEXD273729	0,7	0	0	0	0	0,03	0,21	0,0	0,8	0,0
CAEXD273451	4,5	0	0	0	0	0,05	0,2	0,0	0,8	0,0
CAEXD273452	2,2	0	0	0	0	0,05	0,13	0,0	0,5	0,0
CAEXD273453	2,3	0	0	0	0	0,03	0,14	0,0	0,6	0,0
CAEXD273454	1,1	0	0	0	0	0,05	0,23	0,0	0,8	0,0
CAEXD273456	0,0	0	0	0	0	0	0,3	0,0	0,7	0,0
CAEXD273993	2,9	0	0	0	0	0,03	0,15	0,0	0,6	0,0
CAEXD273994	2,0	0	0	0	0	0,05	0,21	0,0	0,8	0,0
CAEXD273743	4,1	0	0	0	0	0,05	0,25	0,0	0,9	0,0
CAEXD273744	1,8	0	0	0	0	0,02	0,14	0,0	0,6	0,0
CAEXD273746	1,3	0	0	0	0	0,03	0,19	0,8	0,0	0,0
CAEXD275986	1,1	0	0	0	0	0,03	0,19	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-065	1,8	0	0	0	0	0,01	0,21	0,0	0,7	0,0
CAEXD273491	2,3	0	0	0	0	0,02	0,24	0,0	0,8	0,0
CAEXD273498	6,6	0	0	0	0	0,05	0,17	0,0	0,7	0,0
CAEXD273976	3,8	0	0	0	0	0,03	0,18	0,0	0,7	0,0
CAEXD273977	0,2	0	0	0	0	0,03	0,3	0,0	1,1	0,0
AKA14-ENV-072	1,1	0	0	0	0	0,03	0,19	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-073	0,7	0	0	0	0	0,02	0,19	0,0	0,8	0,0
AKA14-ENV-074	2,2	0	0	0	0	0,05	0,19	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-075	0,9	0	0	0	0	0,01	0,21	0,0	0,7	0,0
AKA14-ENV-076	3,2	0	0	0	0	0,01	0,14	0,0	0,6	0,0
AKA14-ENV-077	3,8	0	0	0	0	0,03	0,12	0,0	0,6	0,0
AKA14-ENV-080	0,4	0	0	0	0	0,03	0,19	0,0	0,8	0,0

Tableau D.1 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-015	1,9	0,0	0,2	0,2	28	90
AKA14-ENV-021	1,9	0,0	0,9	0,3	30	83
AKA14-ENV-011	0,0	1,4	0,3	0,3	18	88
AKA14-ENV-013	2,0	0,0	0,0	0,1	24	84
AKA14-ENV-012	2,2	0,0	0,1	0,1	23	88
CAEXD270976	1,9	0,0	0,0	0,0	27	87
CAEXD270983	2,7	0,0	0,0	1,7	29	86
CAEXD270984	0,0	1,1	0,0	0,1	9	90
CAEXD270993	2,0	0,0	0,3	0,2	30	87
CAEXD270995	1,5	0,0	0,0	0,0	34	81
CAEXD271984	2,3	0,0	0,0	0,6	58	84
CAEXD271989	1,9	0,0	0,0	0,1	34	87
CAEXD272982	1,9	0,0	0,1	0,1	38	85
CAEXD273478	2,6	0,0	0,0	0,2	26	94
CAEXD272992	1,9	0,0	0,0	0,0	25	88
CAEXD273489	1,6	0,0	0,0	0,0	32	78
CAEXD273459	1,8	0,0	0,0	0,1	24	85
CAEXD275977	1,9	0,0	0,0	0,1	29	87
AKA14-ENV-059	2,1	0,0	0,1	0,0	20	90
AKA14-ENV-062	1,9	0,0	0,1	0,1	32	85
CAEXD273991	1,9	0,0	0,0	0,0	37	87
AKA14-ENV-070	2,1	0,0	0,2	0,1	29	91

Tableau D.2 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA-14-061	0,0	4,0	0,1	0,1	23	83
AKA-14-041	2,4	0,0	0,0	0,1	24	81
CAEXD270999	2,2	0,0	0,0	0,1	25	78
CAEXD271988	2,5	0,0	0,0	0,1	22	82
CAEXD273750	0,0	4,2	0,0	1,1	50	84
CAEXD275982	0,0	4,1	0,5	1,1	20	83

Tableau D.3 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-018	1,2	0,0	0,4	0,1	64	53
CAEXD270979	0,0	0,9	3,2	0,2	29	67
AKA14-ENV-022	0,0	0,7	0,8	0,3	26	57
AKA14-ENV-016	1,3	0,0	0,4	0,1	23	67
AKA14-ENV-020	0,0	0,8	0,1	0,2	55	43
AKA14-ENV-017	1,0	0,0	0,3	0,0	28	63
AKA14-ENV-019	1,1	0,0	0,2	0,1	67	49
CAEXD270980	0,0	0,9	0,0	0,1	66	43
CAEXD270981	0,0	0,7	0,0	0,1	18	34
CAEXD270978	1,3	0,0	0,0	0,0	24	67
CAEXD270986	0,0	0,9	0,0	0,1	15	72
CAEXD270987	0,0	1,1	0,0	0,0	9	71
AKA14-ENV-044	1,3	0,0	0,3	0,0	30	72
AKA14-ENV-043	0,9	0,0	0,3	0,0	21	62
AKA14-ENV-045	1,1	0,0	0,2	0,1	24	60
CAEXD271000	1,2	0,0	0,2	0,0	28	70
AKA14-ENV-042	0,0	0,9	0,5	0,4	15	58
CAEXD271976	1,0	0,0	0,0	0,1	14	57
CAEXD273742	0,0	0,6	0,0	0,3	24	65
CAEXD273737	0,0	0,9	0,0	0,1	56	38
CAEXD273735	1,2	0,0	0,0	0,0	29	70
CAEXD273736	0,8	0,0	0,0	0,0	17	53
AKA14-ENV-063	0,8	0,0	0,5	0,1	20	55
CAEXD275983	1,3	0,0	0,0	0,0	20	72

Tableau D.4 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-004	1,7	0,0	4,9	0,6	54	68
AKA14-ENV-014	0,0	0,6	1,1	0,2	16	71
CAEXD270977	0,0	0,5	0,2	0,0	14	51
CAEXD270988	0,0	0,6	0,0	0,0	59	43
AKA14-ENV-023	1,2	0,0	0,0	0,5	38	64
AKA14-ENV-024	1,0	0,0	0,1	0,0	36	58
CAEXD272476	0,9	0,0	0,1	0,0	31	50
AKA14-ENV-025	1,0	0,0	0,0	0,0	47	55
AKA14-ENV-030	1,1	0,0	0,8	0,1	42	57
CAEXD270996	0,9	0,0	0,4	0,2	44	47
CAEXD270992						
AKA14-ENV-034	1,0	0,0	0,3	1,3	58	57
AKA14-ENV-036	1,0	0,0	0,5	0,7	47	51
AKA14-ENV-037	1,0	0,0	0,4	0,8	50	54
CAEXD272483	0,9	0,0	0,1	0,6	38	59
CAEXD272484	1,1	0,0	0,1	0,0	62	55
CAEXD272481	1,4	0,0	0,0	0,8	44	66
CAEXD272480	0,7	0,0	0,0	0,7	43	46
CAEXD272493	1,1	0,0	0,0	0,3	41	61
CAEXD272492	0,9	0,0	0,0	0,3	37	54
CAEXD272489	1,1	0,0	0,0	0,0	44	57
CAEXD271987	0,9	0,0	0,0	1,9	53	54
CAEXD271978	1,0	0,0	0,0	0,0	44	54
CAEXD272978	0,0	1,0	0,7	0,6	78	59
AKA14-ENV-049	1,1	0,0	0,5	0,0	44	60
AKA14-ENV-050	1,1	0,0	0,4	0,0	42	59
CAEXD272499	1,1	0,0	0,0	0,0	45	60
CAEXD271995	1,8	0,0	0,0	1,0	50	73
CAEXD271991	1,5	0,0	0,0	0,2	36	69
CAEXD271996	0,6	0,0	0,0	1,6	48	39
CAEXD273477	0,6	0,0	0,0	1,0	52	45
CAEXD272000	0,0	0,8	0,0	5,2	63	56
CAEXD272987	0,0	0,7	0,0	2,1	86	68
CAEXD273482	1,2	0,0	1,5	0,1	32	60
CAEXD273480	1,3	0,0	0,0	0,1	39	62

Tableau D. 4 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
CAEXD273487	1,1	0,0	0,0	0,1	50	49
CAEXD272993	1,1	0,0	0,0	1,3	53	50
CAEXD273740	0,7	0,0	0,0	2,8	54	41
CAEXD273741	0,8	0,0	0,0	4,5	68	41
CAEXD273726	1,3	0,0	0,0	0,0	45	61
CAEXD273733	0,0	1,1	0,0	1,5	61	40
CAEXD273731	0,0	1,4	0,0	1,6	68	48
CAEXD273455	1,5	0,0	0,0	0,1	46	68
CAEXD273500	1,3	0,0	0,0	0,0	52	66
CAEXD273998	1,4	0,0	0,0	0,7	55	54
CAEXD273995	1,2	0,0	0,0	0,1	48	59
CAEXD273997	1,4	0,0	0,0	0,9	81	56
CAEXD275978	1,7	0,0	0,1	0,4	49	66
CAEXD273747	1,1	0,0	0,0	0,1	44	57
AKA14-ENV-064	1,3	0,0	2,1	0,4	56	66
CAEXD273496	1,6	0,0	0,3	0,0	46	70
CAEXD273497	1,0	0,0	0,0	0,0	28	50
CAEXD273988	1,0	0,0	0,0	2,1	69	48
CAEXD273987	1,0	0,0	0,0	0,5	44	50
AKA14-ENV-071	1,3	0,0	0,3	0,1	47	62

Tableau D.5 : (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-006	1,2	0,0	0,0	2,0	68	49
AKA14-ENV-007	1,2	0,0	0,1	0,5	47	51
AKA14-ENV-010	1,0	0,0	0,1	0,1	35	47
AKA14-ENV-009	0,9	0,0	0,1	0,2	37	47
AKA14-ENV-008	0,9	0,0	0,0	0,2	36	46
AKA14-ENV-032	1,0	0,0	0,8	0,1	37	60
AKA14-ENV-033	1,0	0,0	0,4	0,2	41	59
CAEXD270994	0,8	0,0	0,2	0,0	29	56
CAEXD270990	1,0	0,0	0,0	0,0	32	58
AKA14-ENV-038	1,3	0,0	0,0	1,8	64	57
CAEXD270997	0,7	0,0	0,3	0,1	47	38
AKA14-ENV-040	0,0	0,5	0,0	1,2	60	59
AKA14-ENV-039	0,9	0,0	0,5	0,6	39	50
CAEXD270998	0,0	0,3	0,0	0,6	69	55
CAEXD271985	0,9	0,0	0,0	0,3	43	46
CAEXD271980	0,9	0,0	0,0	0,0	22	55
CAEXD272979	0,8	0,0	0,0	0,3	41	45
CAEXD273476	1,1	0,0	0,0	0,4	39	47
CAEXD271999	1,0	0,0	0,0	0,2	36	49
CAEXD271997	1,1	0,0	0,0	0,3	56	48
CAEXD272990	1,1	0,0	0,0	0,1	37	48
CAEXD272989	1,0	0,0	0,0	0,1	38	48
CAEXD272988	1,1	0,0	0,0	1,3	59	48
CAEXD273488	0,7	0,0	0,0	2,1	60	38
CAEXD273485	1,3	0,0	0,0	0,6	80	56
AKA14-ENV-055	2,0	0,0	0,1	0,0	64	85
CAEXD273486	0,0	0,8	0,0	0,2	37	63
CAEXD272994	1,0	0,0	0,0	0,9	54	49
CAEXD273739	1,0	0,0	0,0	1,0	60	47
CAEXD273732	0,9	0,0	0,0	1,3	49	44
CAEXD273734	0,8	0,0	0,0	0,0	38	44
CAEXD273457	0,8	0,0	0,0	4,1	65	40
CAEXD274000	0,0	0,9	0,0	0,0	34	47
AKA14-ENV-056	1,0	0,0	0,2	0,1	50	54
AKA14-ENV-058	0,8	0,0	0,2	0,1	37	44

Tableau D.5 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
CAEXD275980	1,0	0,0	0,0	0,1	30	49
CAEXD273745	0,9	0,0	0,2	0,0	27	55
CAEXD275985	1,0	0,0	0,0	0,1	37	47
CAEXD273499	1,0	0,0	0,5	0,0	27	57
CAEXD273990	1,1	0,0	0,0	1,0	42	50
CAEXD273989	1,0	0,0	0,0	0,3	42	46
CAEXD273985	0,6	0,0	0,0	0,0	35	35
CAEXD273986	1,2	0,0	0,0	0,7	40	51
CAEXD273983	1,1	0,0	0,0	1,3	46	48
CAEXD273981	0,7	0,0	0,0	1,1	50	42
CAEXD273982	0,9	0,0	0,0	0,2	38	47
CAEXD273984	0,9	0,0	0,0	0,1	37	43
AKA14-ENV-082	0,8	0,0	0,1	0,0	36	56
AKA14-ENV-085	0,9	0,0	0,3	0,0	35	58
AKA14-ENV-084	1,0	0,0	0,1	0,0	37	59

Tableau D. 6 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-031	0,9	0,0	0,2	0,1	28	50
CAEXD270991	1,0	0,0	0,7	0,2	32	52
CAEXD270992	0,8	0,0	0,2	0,1	30	47
CAEXD272478	1,0	0,0	1,6	0,4	53	53
CAEXD271986	1,0	0,0	0,0	0,1	28	54
CAEXD271983	0,9	0,0	0,0	0,2	32	50
CAEXD271994	0,8	0,0	0,0	0,3	39	47
CAEXD271993	0,8	0,0	0,0	0,3	40	51
CAEXD273749	0,8	0,0	0,0	0,6	43	46
CAEXD273494	0,6	0,0	0,1	0,1	38	37
AKA14-ENV-066	1,0	0,0	0,5	0,1	38	52
AKA14-ENV-067	1,0	0,0	0,0	0,7	42	52
AKA14-ENV-068	0,9	0,0	0,1	0,1	23	51
AKA14-ENV-069	0,8	0,0	0,0	0,1	20	42
CAEXD275981	1,0	0,0	0,0	0,0	24	52

Tableau D.7 (suite)

No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-003	1,2	0,0	3,8	0,1	59	61
CAEXD272477	0,6	0,0	0,4	0,1	30	47
AKA14-ENV-035	0,7	0,0	1,6	0,4	38	43
CAEXD272491	0,0	0,7	0,0	0,0	79	48
CAEXD272977	1,0	0,0	3,3	0,2	44	53
CAEXD272500	0,5	0,0	0,0	0,0	28	38
CAEXD271998	0,0	0,5	0,0	1,3	51	53
CAEXD272995	0,6	0,0	0,0	0,7	44	43
CAEXD272996	0,5	0,0	0,0	0,0	37	38
CAEXD273738	0,0	0,7	0,0	3,7	75	52
CAEXD275988	0,7	0,0	0,0	0,0	34	53
CAEXD273493	0,6	0,0	0,1	0,3	32	36
CAEXD273492	1,0	0,0	0,5	0,3	40	60
CAEXD275984	0,8	0,0	0,1	0,0	45	56
AKA14-ENV-079	0,7	0,0	0,2	0,0	21	44
AKA14-ENV-078	0,7	0,0	0,1	0,1	27	44

Tableau D.8 (suite)

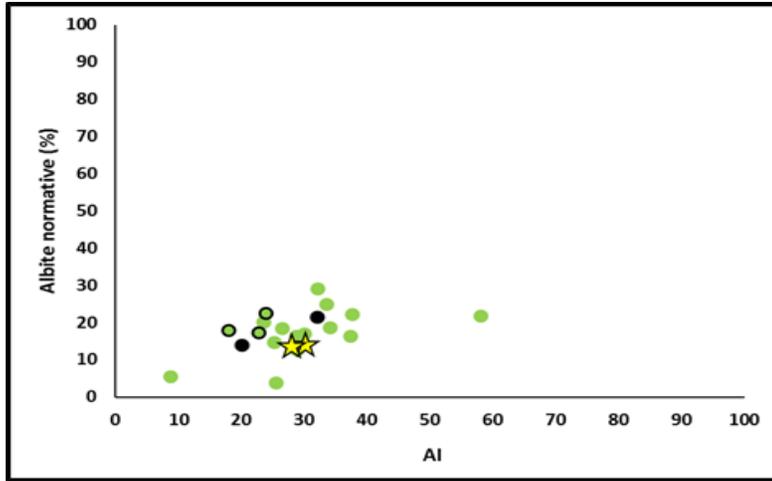
No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-005	0,6	0,0	0,0	1,2	50	40
CAEXD270982	0,8	0,0	0,3	0,0	36	53
CAEXD270985	0,5	0,0	0,0	0,0	16	35
CAEXD272482	0,5	0,0	0,9	0,3	49	41
CAEXD272495	0,7	0,0	0,0	0,1	36	53
CAEXD272494	0,6	0,0	0,0	0,1	43	47
CAEXD271982	0,8	0,0	0,0	0,0	33	50
CAEXD272980	0,6	0,0	0,1	0,2	33	49
CAEXD271992	1,0	0,0	0,0	0,0	31	54
CAEXD272991	0,6	0,0	0,0	0,1	42	45
CAEXD272985	0,9	0,0	0,0	0,1	37	60
CAEXD272986	1,0	0,0	0,0	1,1	55	49
CAEXD273484	0,7	0,0	0,2	0,8	57	42
CAEXD273483	0,7	0,0	0,0	1,1	45	42
CAEXD273490	0,7	0,0	0,2	0,0	26	43
CAEXD273730	0,9	0,0	0,0	1,5	90	44
CAEXD273458	0,7	0,0	0,0	0,0	32	45
CAEXD273999	0,5	0,0	0,0	0,4	49	41
CAEXD275976	0,8	0,0	0,0	0,1	37	51
CAEXD273996	0,0	0,6	0,0	0,0	50	58
AKA14-ENV-057	0,5	0,0	0,5	0,2	44	38
CAEXD275979	0,6	0,0	0,0	0,1	47	42
CAEXD275987	0,8	0,0	0,0	0,0	27	48
AKA14-ENV-060	0,8	0,0	0,0	0,0	30	59
CAEXD273748	0,8	0,0	0,0	1,9	44	47
CAEXD273495	0,6	0,0	0,1	0,0	25	38
CAEXD273978	0,8	0,0	0,0	0,5	44	46
CAEXD273980	0,0	0,6	0,0	2,1	77	52
CAEXD273979	1,5	0,0	0,0	1,8	81	60
AKA14-ENV-083	0,7	0,0	0,2	0,1	30	50
AKA14-ENV-081	0,7	0,0	0,0	0,1	31	52
AKA14-ENV-086	0,7	0,0	0,2	0,0	32	52

Tableau D.9 (suite)

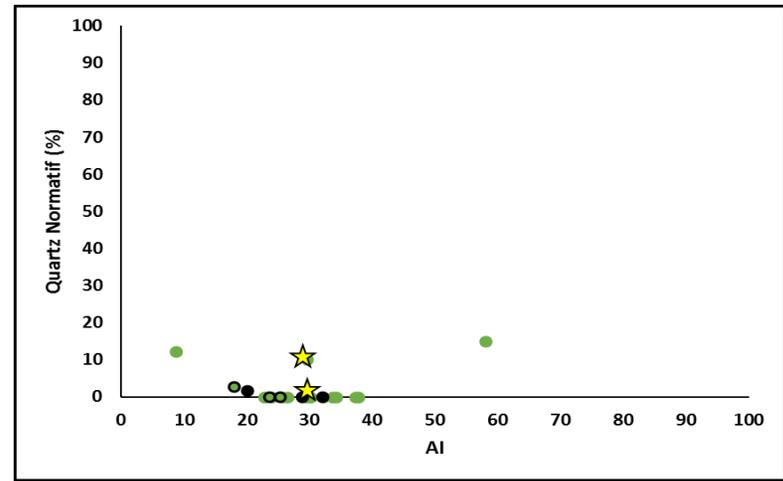
No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
AKA14-ENV-001	1,3	0,0	7,5	0,1	55	61
AKA14-ENV-002	0,7	0,0	2,4	0,1	30	43
AKA14-ENV-026	0,6	0,0	0,1	0,0	23	44
AKA14-ENV-027	0,5	0,0	0,3	0,1	23	40
AKA14-ENV-028	0,6	0,0	0,2	0,1	25	41
CAEXD270989	0,9	0,0	0,0	0,1	32	49
AKA14-ENV-029	0,8	0,0	1,1	0,1	25	45
CAEXD272479	0,3	0,0	1,2	0,3	29	29
CAEXD272485	0,5	0,0	0,0	0,0	31	34
CAEXD272486	0,6	0,0	0,4	0,0	25	41
CAEXD272487	0,5	0,0	0,0	0,1	19	37
CAEXD272488	0,5	0,0	0,0	0,0	14	30
CAEXD272490	0,4	0,0	0,0	0,0	19	27
CAEXD272496	0,7	0,0	0,0	0,0	25	43
CAEXD272497	0,5	0,0	0,0	0,0	28	37
CAEXD271977	0,5	0,0	0,0	0,0	27	36
CAEXD271979	0,6	0,0	0,0	0,0	21	41
CAEXD271981	0,0	0,5	0,0	0,1	42	44
AKA14-ENV-046	0,5	0,0	0,9	0,1	20	35
CAEXD272498	0,5	0,0	0,2	0,0	20	33
AKA14-ENV-047	0,6	0,0	0,5	0,0	22	39
AKA14-ENV-048	0,5	0,0	0,5	0,0	19	37
CAEXD272976	0,5	0,0	0,2	0,1	19	33
CAEXD272981	0,7	0,0	0,4	0,0	37	39
CAEXD271990	0,7	0,0	0,0	0,0	25	43
CAEXD272983	0,7	0,0	0,0	0,0	22	44
CAEXD272984	0,7	0,0	0,0	0,2	33	48
AKA14-ENV-051	0,6	0,0	1,1	0,0	24	36
AKA14-ENV-052	0,5	0,0	0,2	0,0	19	38
AKA14-ENV-053	0,6	0,0	0,5	0,0	17	38
CAEXD273479	0,6	0,0	0,3	0,0	21	38
AKA14-ENV-054	0,5	0,0	0,4	0,0	22	35
CAEXD273481	0,7	0,0	0,9	0,1	26	44
CAEXD272997	0,7	0,0	0,0	0,1	25	44
CAEXD272998	0,6	0,0	0,0	0,0	24	43

Tableau D.9 (suite)

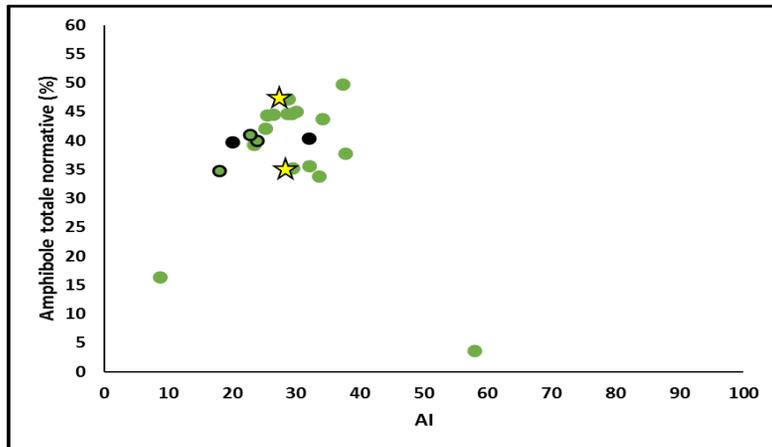
No. Échant.	Hématite	Ilménite	Pyrite	Chalcopy.	AI	CCPI
CAEXD273000	0,5	0,0	0,0	0,0	22	37
CAEXD272999	0,4	0,0	0,0	0,0	17	28
CAEXD273000	0,5	0,0	0,0	0,0	22	37
CAEXD273727	0,6	0,0	0,0	0,0	18	38
CAEXD273728	0,6	0,0	0,0	0,1	28	40
CAEXD273729	1,2	0,0	0,0	0,1	58	58
CAEXD273451	0,7	0,0	0,0	0,0	21	42
CAEXD273452	0,5	0,0	0,0	0,0	25	36
CAEXD273453	0,5	0,0	0,0	0,0	21	34
CAEXD273454	0,9	0,0	0,0	0,1	28	45
CAEXD273456	1,2	0,0	0,0	0,5	47	51
CAEXD273993	0,4	0,0	0,0	0,0	21	30
CAEXD273994	0,7	0,0	0,0	0,0	27	43
CAEXD273743	0,7	0,0	0,1	0,0	21	42
CAEXD273744	0,5	0,0	0,9	0,0	15	35
CAEXD273746	0,0	0,6	0,0	0,3	17	36
CAEXD275986	0,8	0,0	0,0	0,8	56	42
AKA14-ENV-065	0,5	0,0	0,1	0,2	24	33
CAEXD273491	0,5	0,0	0,0	0,1	28	33
CAEXD273498	0,6	0,0	0,0	0,0	27	39
CAEXD273976	0,7	0,0	0,0	0,0	31	44
CAEXD273977	1,1	0,0	0,0	0,2	44	63
AKA14-ENV-072	0,6	0,0	0,1	0,0	26	43
AKA14-ENV-073	0,7	0,0	0,0	0,0	19	45
AKA14-ENV-074	0,6	0,0	0,2	0,0	24	41
AKA14-ENV-075	0,7	0,0	2,1	0,1	30	42
AKA14-ENV-076	0,6	0,0	0,8	0,1	22	40
AKA14-ENV-077	0,7	0,0	0,8	0,0	28	44
AKA14-ENV-080	0,7	0,0	0,4	0,1	22	44



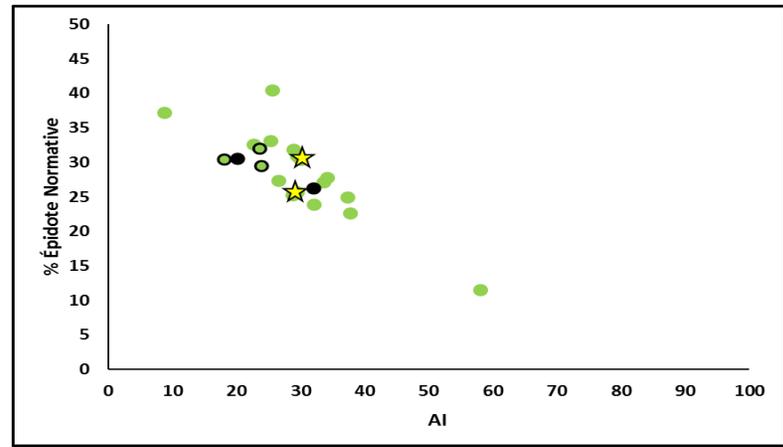
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

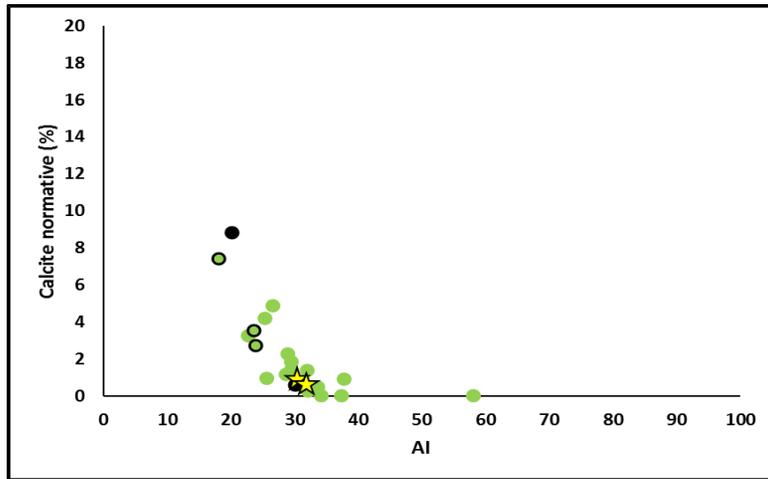


C) Amphibole totale normative vs AI.

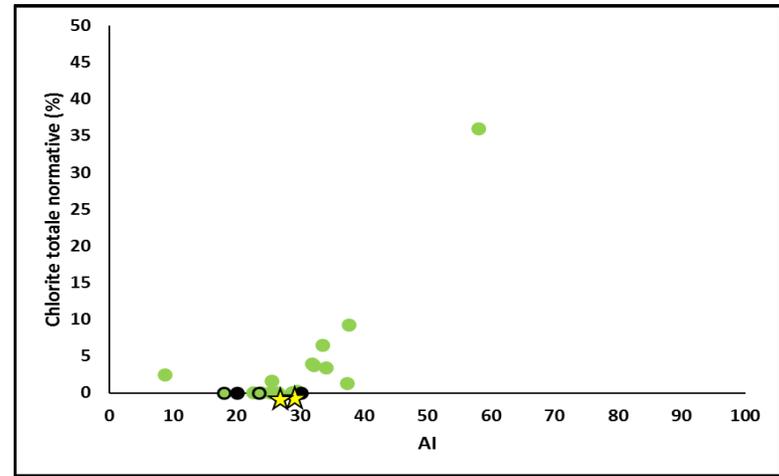


D) Épidote normative vs AI

Figure D-1 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 1 (stériles, symbole noirs plein (ex. ●); minéral, symboles contourés (ex. ●) et échantillons d'essais cinétiques en cellules d'altération (★)).

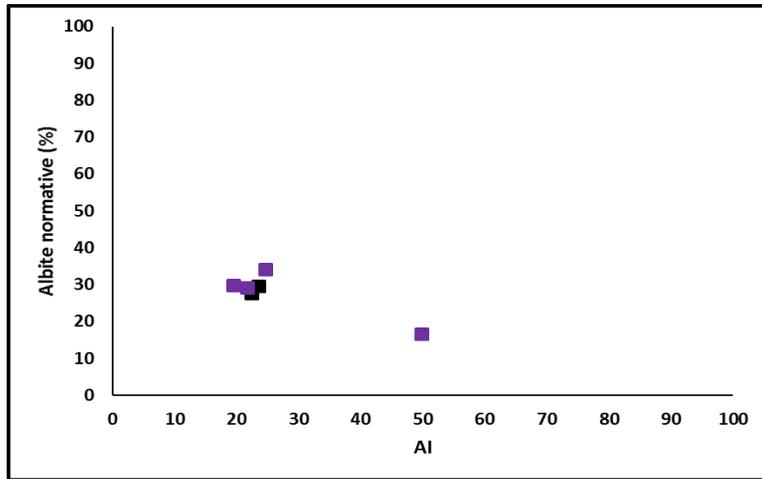


D) Calcite normative vs AI

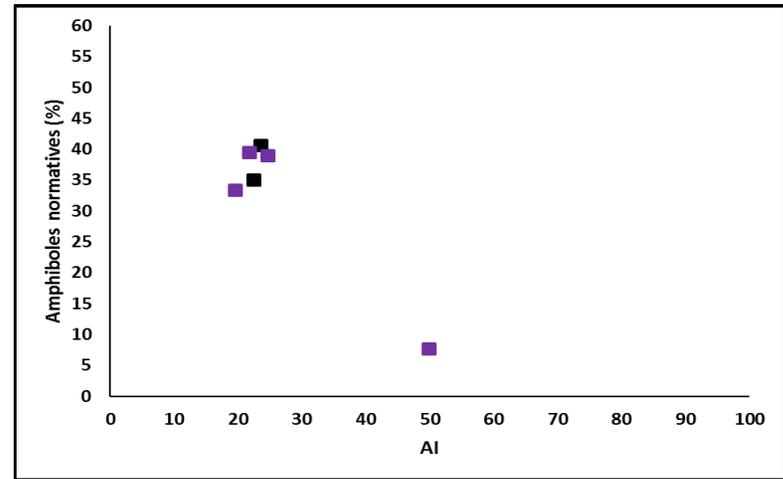


E) Chlorite normative vs AI

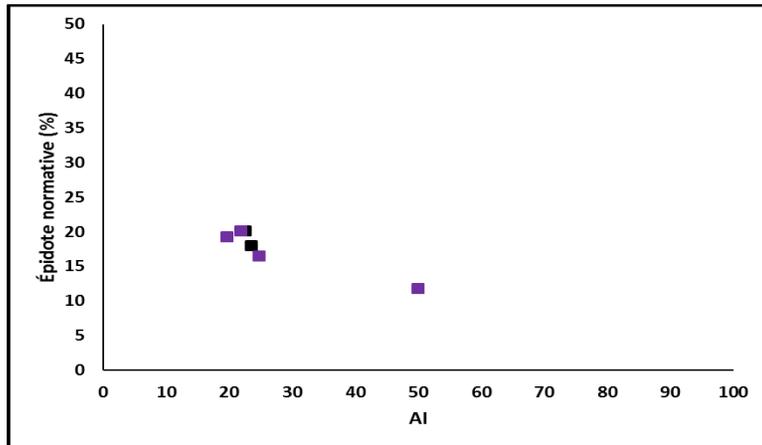
Figure D-1 (suite)



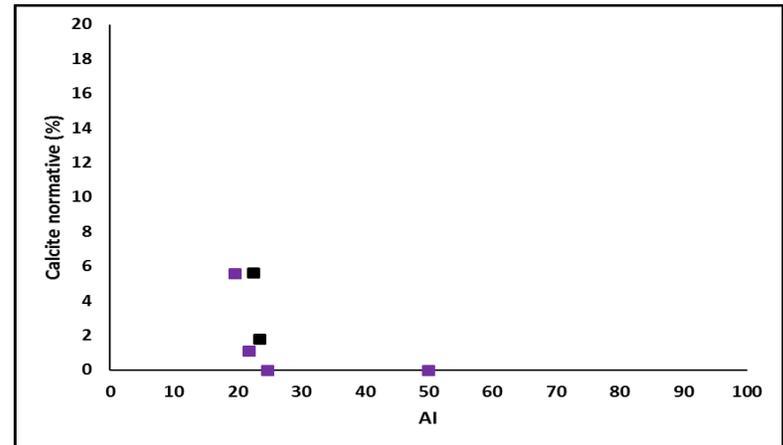
A) Albite normative vs AI



B) Amphibole totale normative vs AI

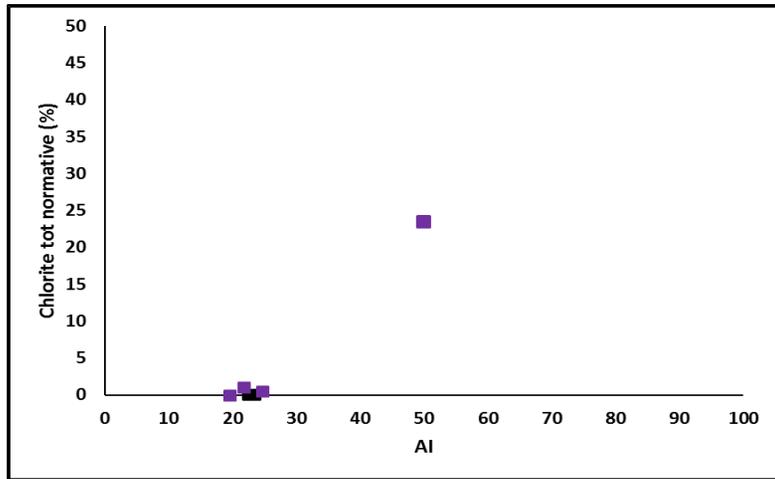


C) Épidote normative vs AI

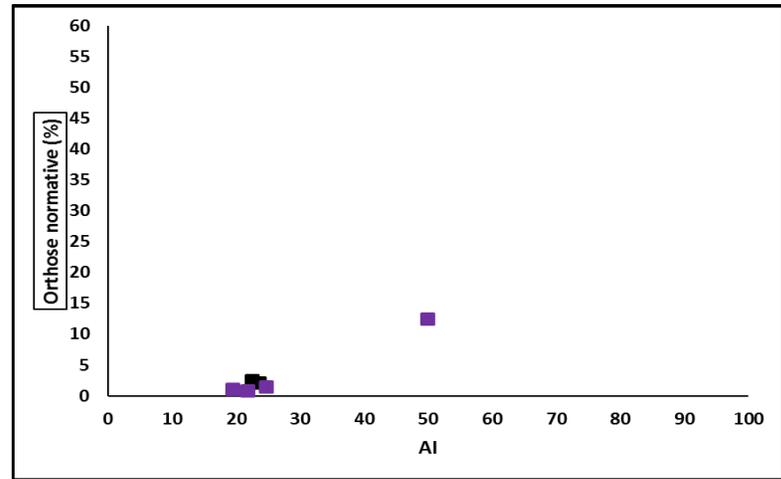


D) Calcite normative vs AI

Figure D-2 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 2

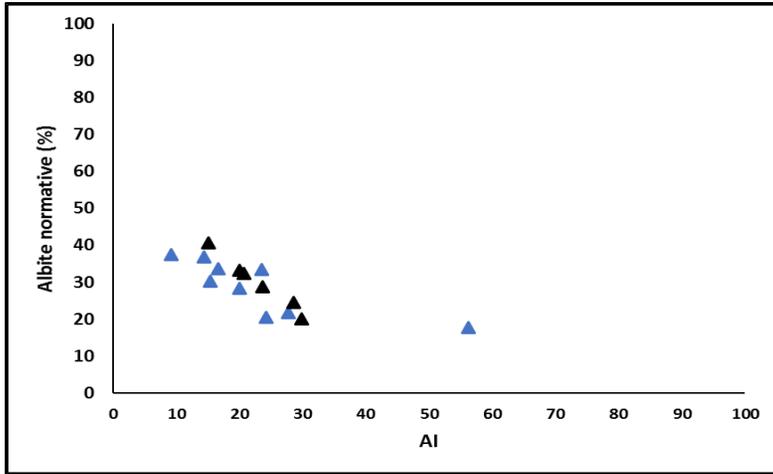


E) Chlorite normative vs AI

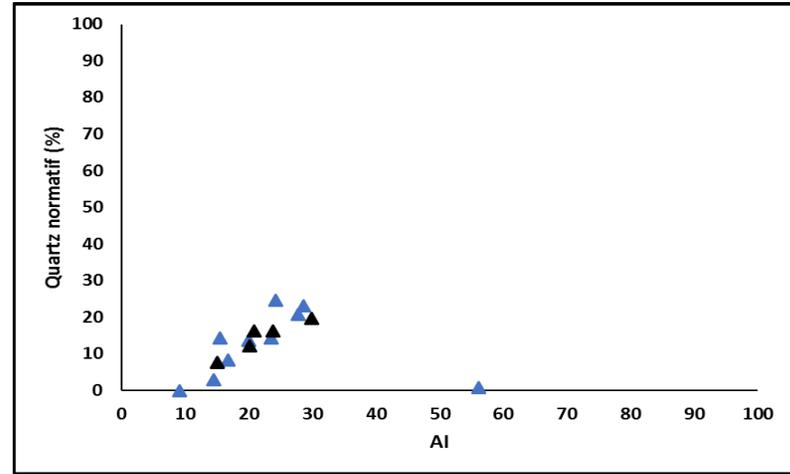


F) Amphibole totale normative vs AI

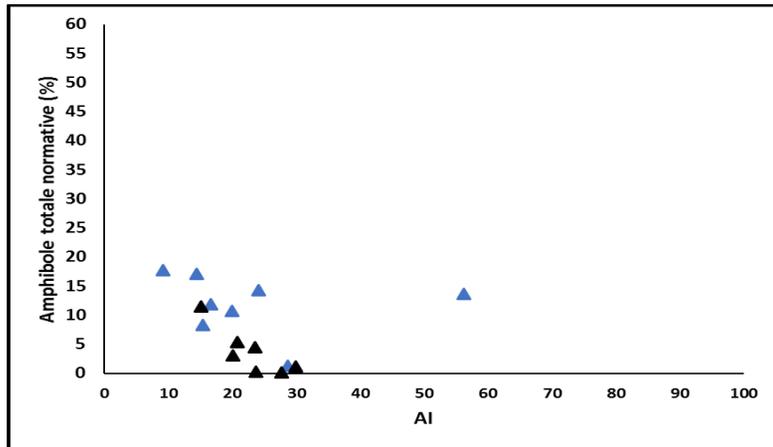
Figure D-2 (suite) :



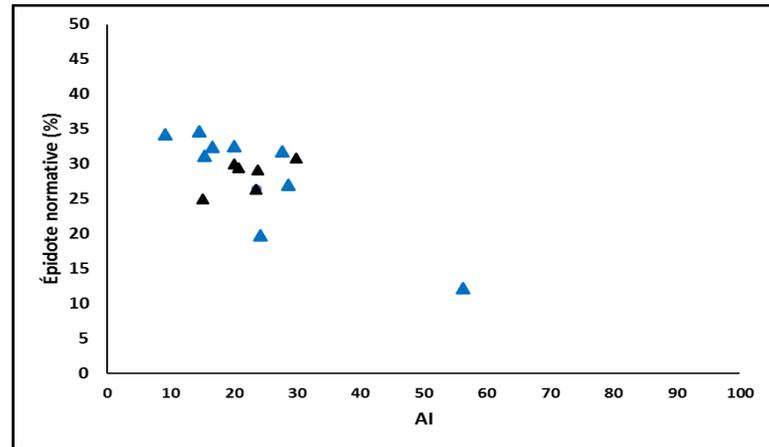
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

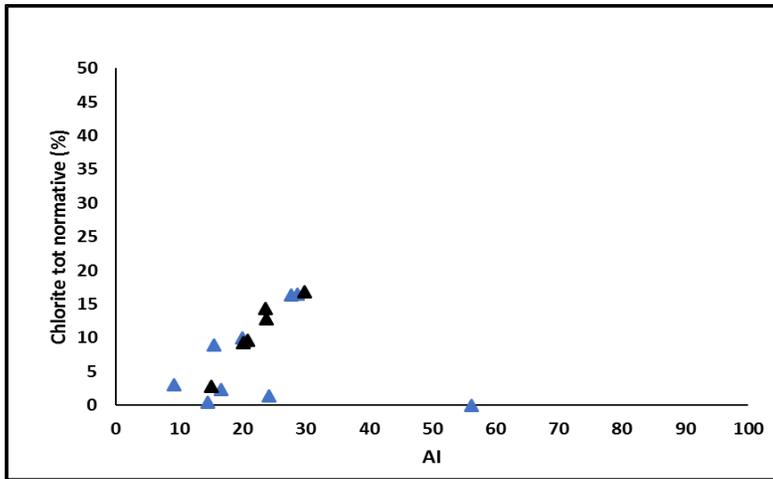


C) Amphibole totale normative vs AI

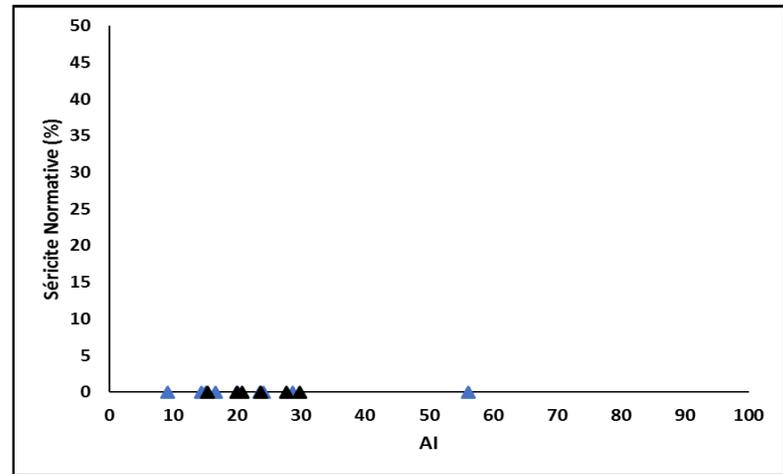


D) Épidote normative vs AI

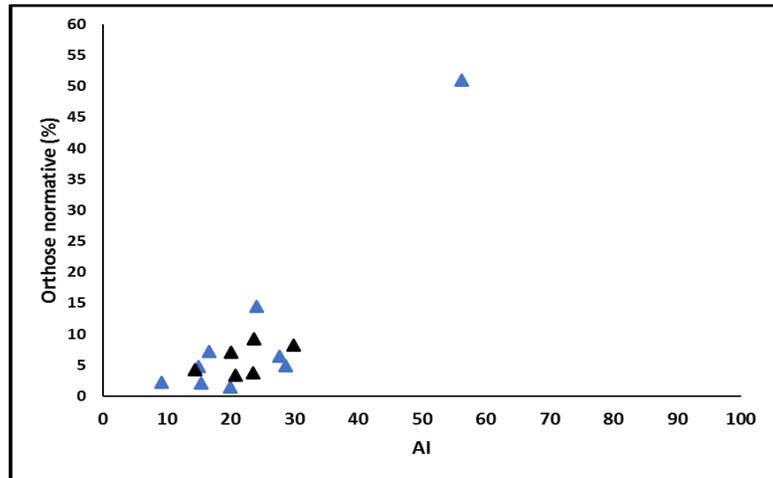
Figure D-3 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 3



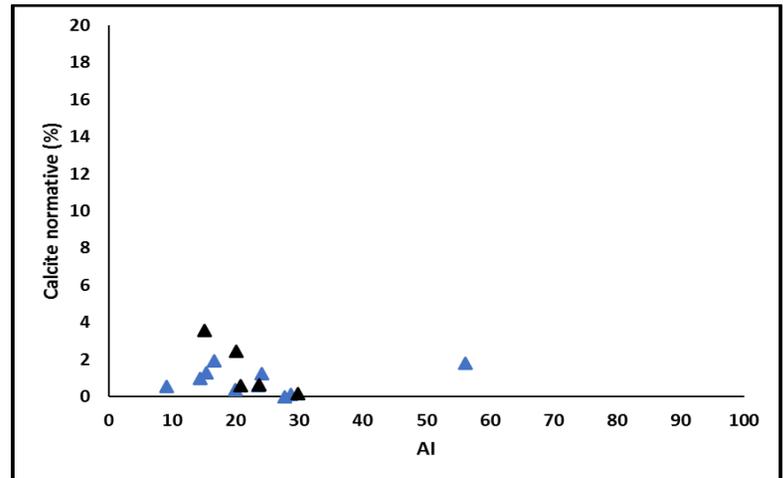
E) Chlorite normative vs AI



F) Sérícite normative vs AI

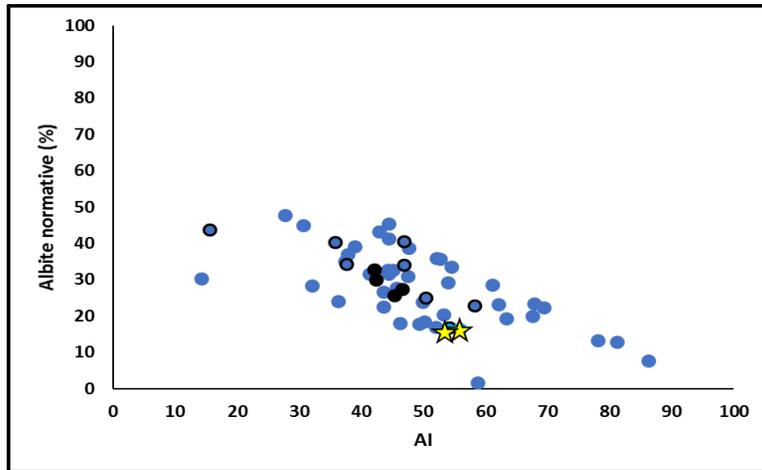


F) Orthose normative

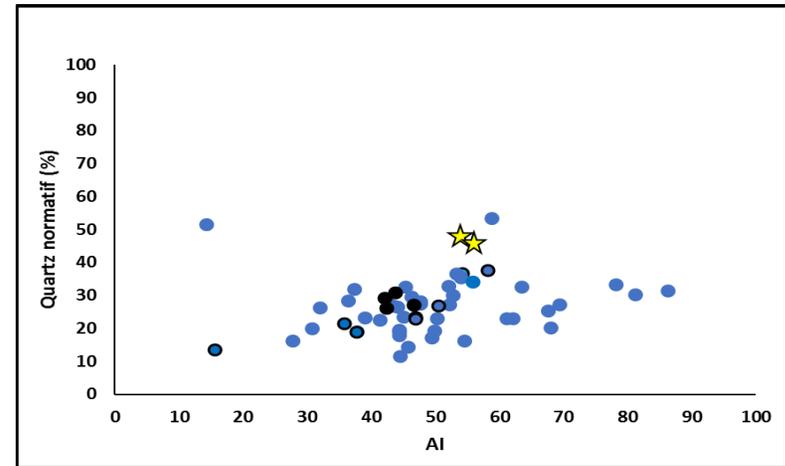


G) Calcite normative

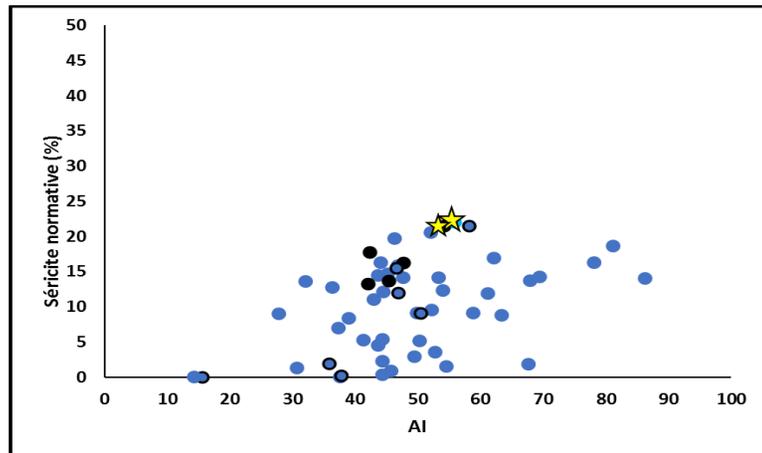
Figure D-3 (suite) :



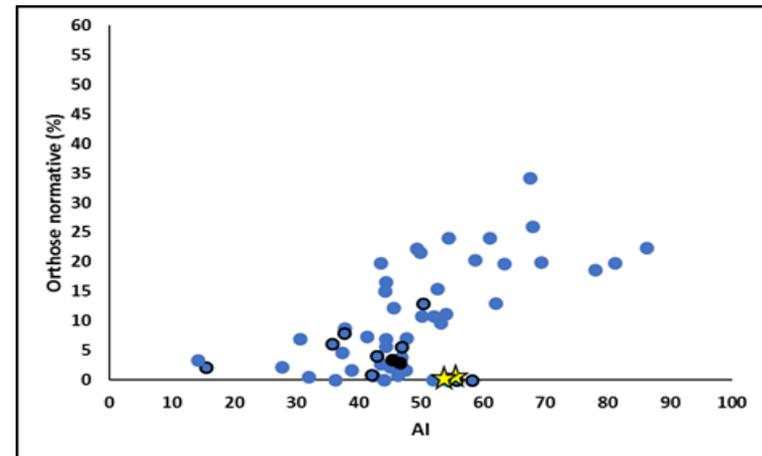
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

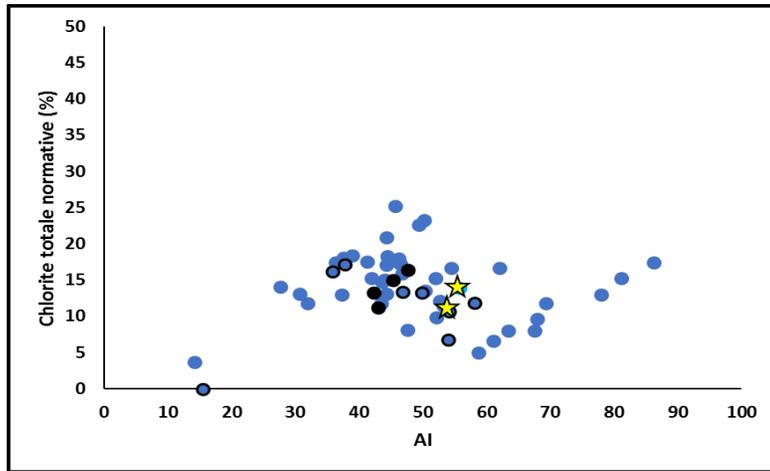


C) Sérécite totale normative vs AI

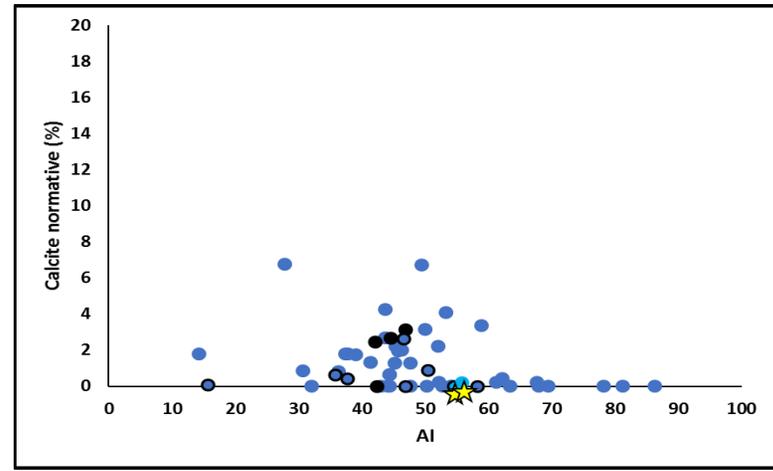


D) Orthose normative vs AI

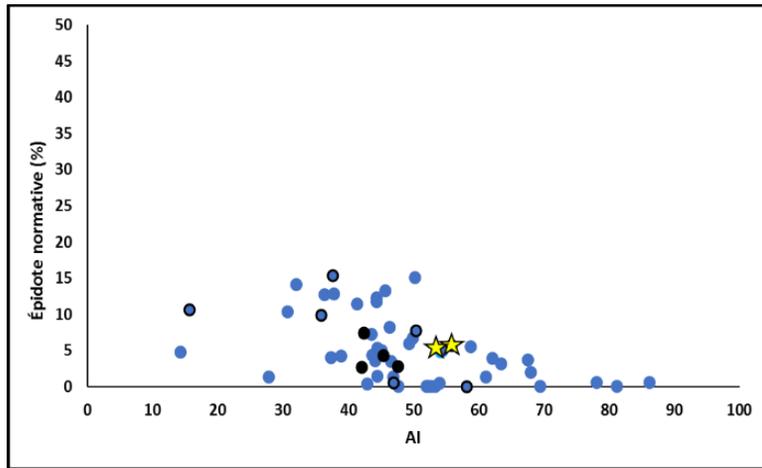
Figure D-4 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 4A Dacite et tufs dacitiques type 1



E) Chlorite normative vs AI

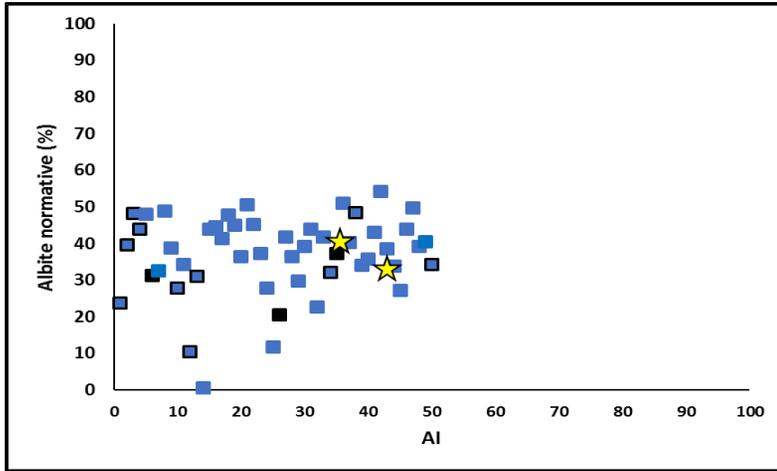


F) Calcite normative vs AI

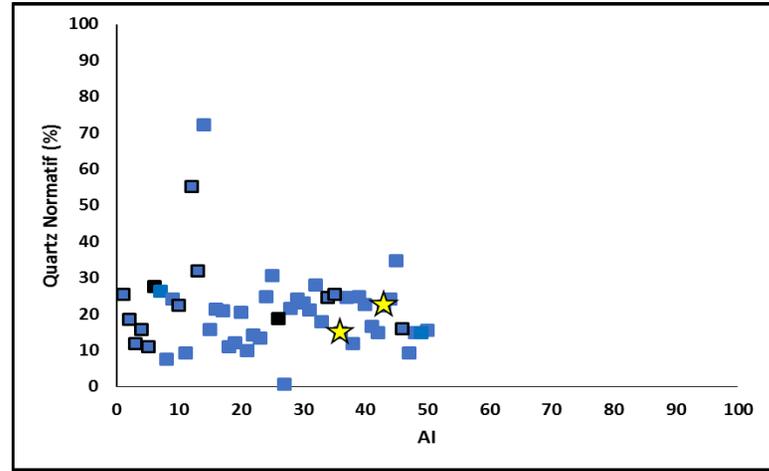


H) Épidote normative

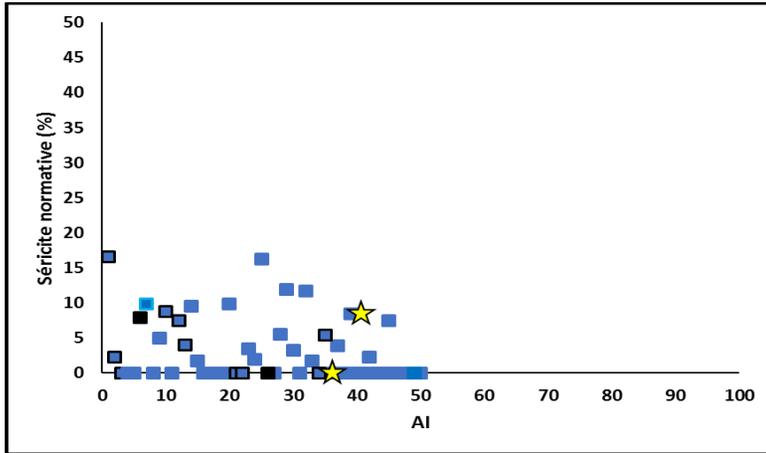
Figure D-4 (suite)



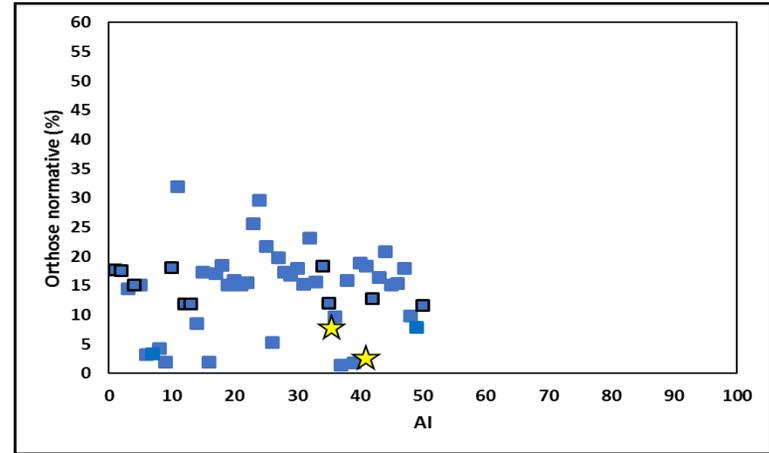
D) Albite normative vs AI



E) Quartz normati vs AI

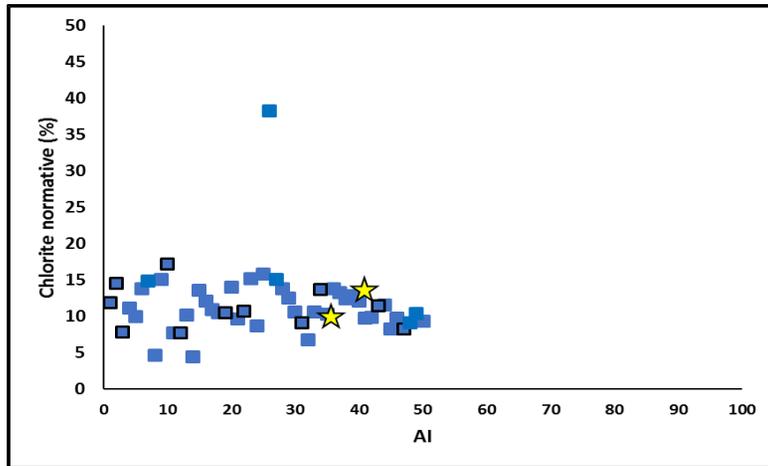


F) Sérícite totale normative vs AI

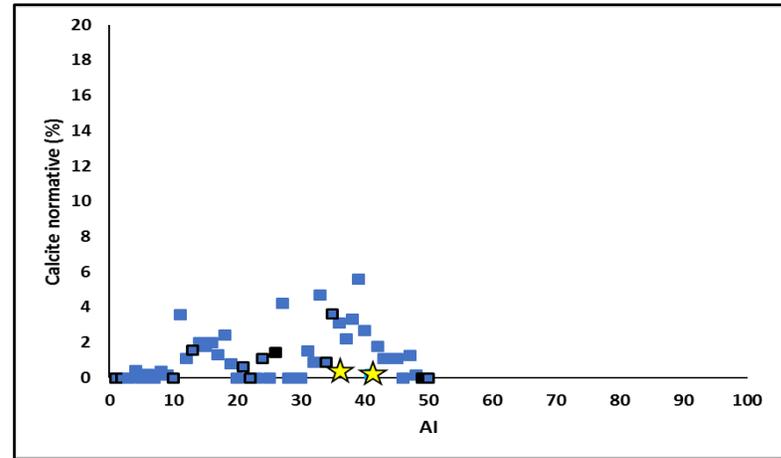


D) Orthose normative vs AI

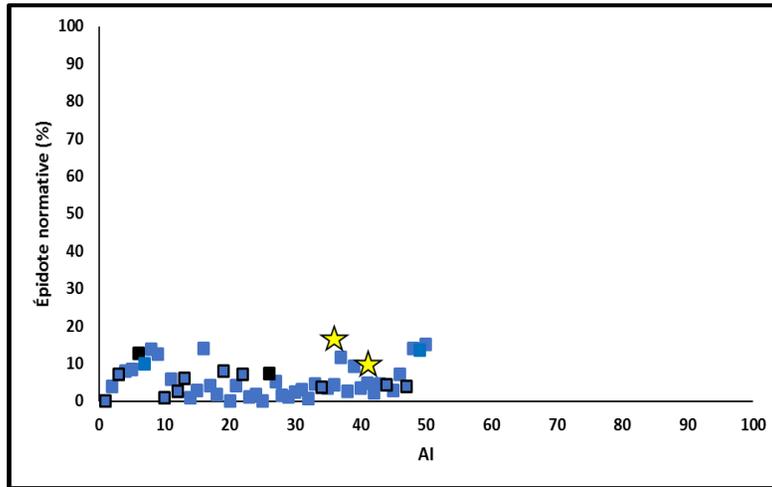
Figure D-5 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 4A Intrusions dacitiques et QFP



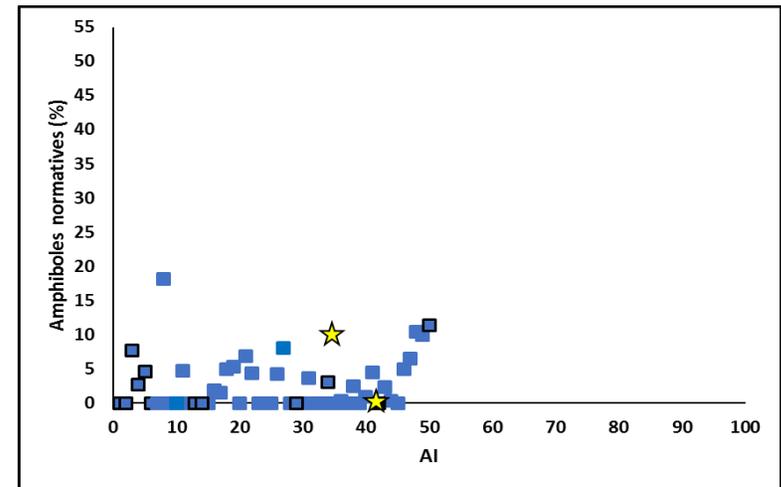
E) Chlorite normative vs AI



F) Calcite normative vs AI

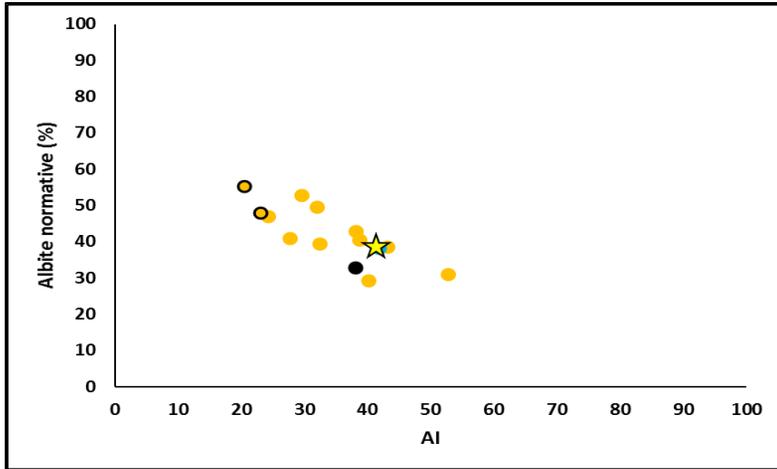


G) Épidote normative

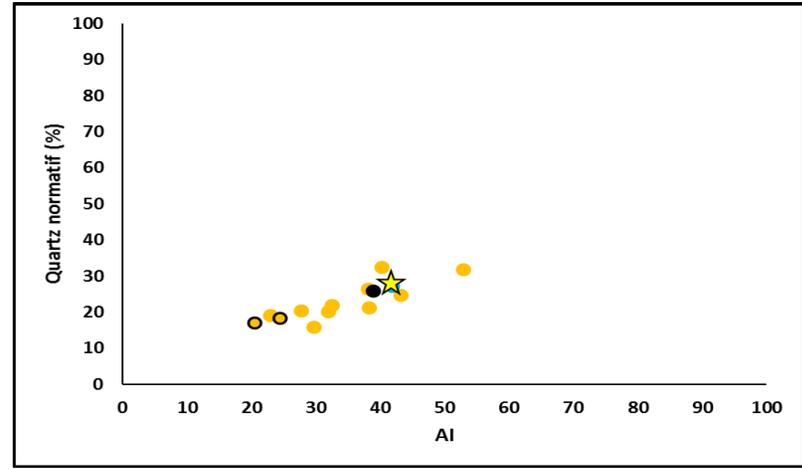


H) Amphibole normative vs AI.

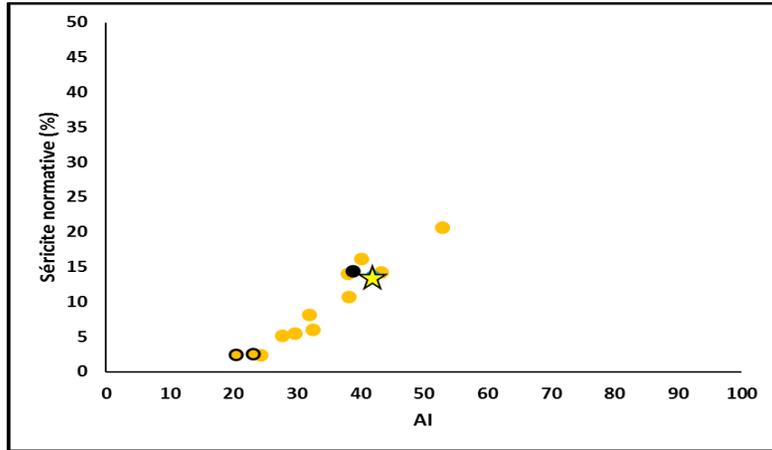
Figure D-5 (suite)



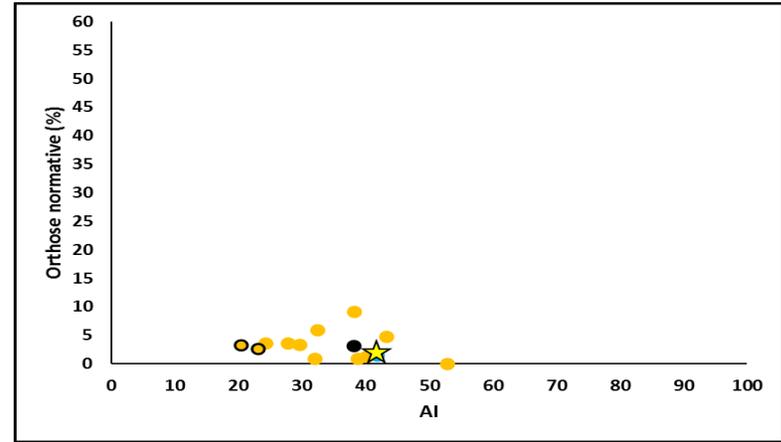
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

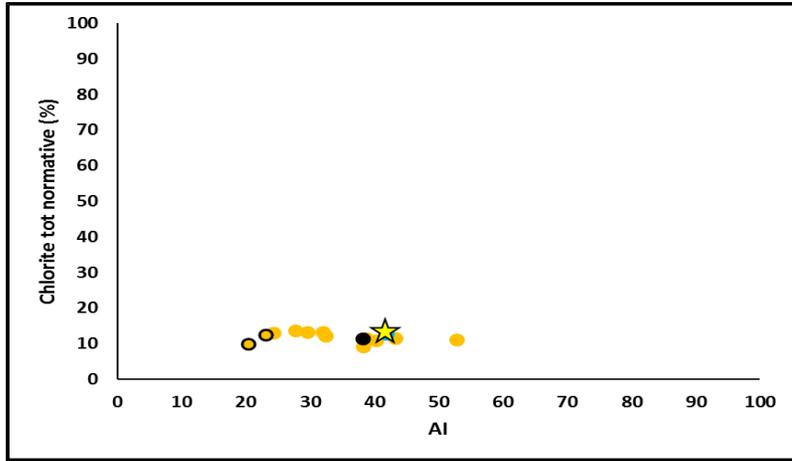


C) Sérícite totale normative vs AI

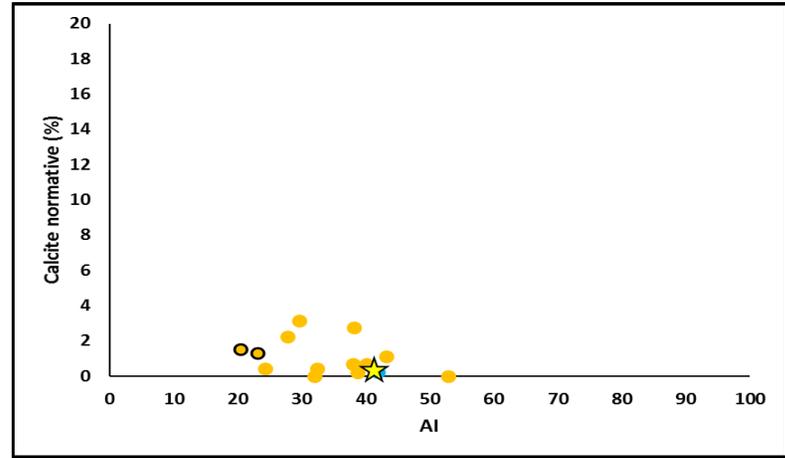


D) Orthose normative vs AI

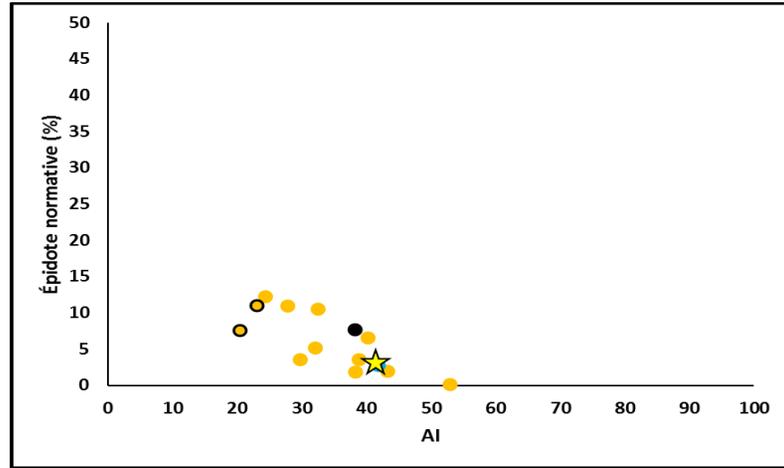
Figure D-6 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 4B Andésites alcalines



E) Chlorite normative vs AI

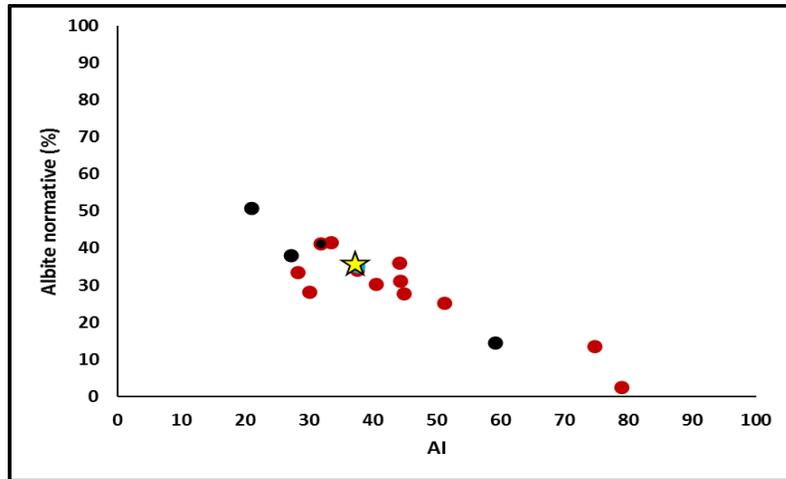


F) Calcite normative vs AI

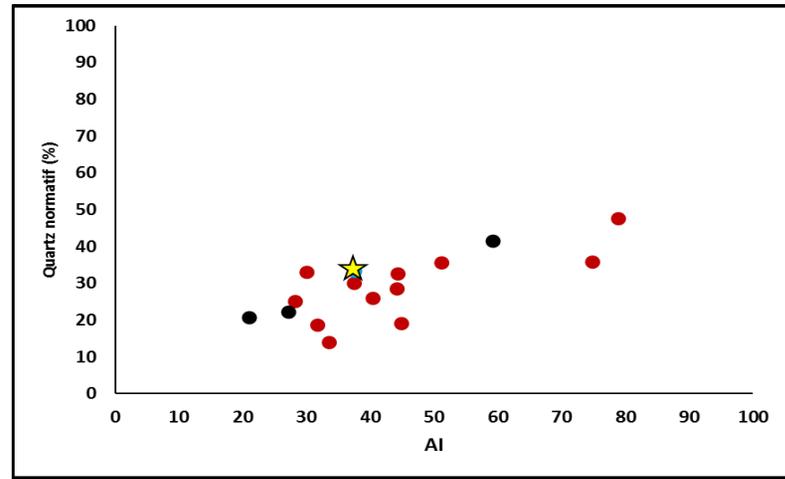


G) Épidote normative

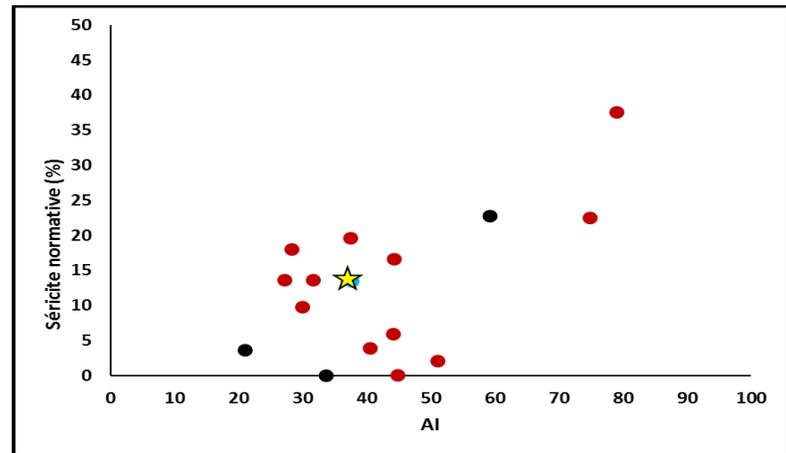
Figure D-6 (suite)



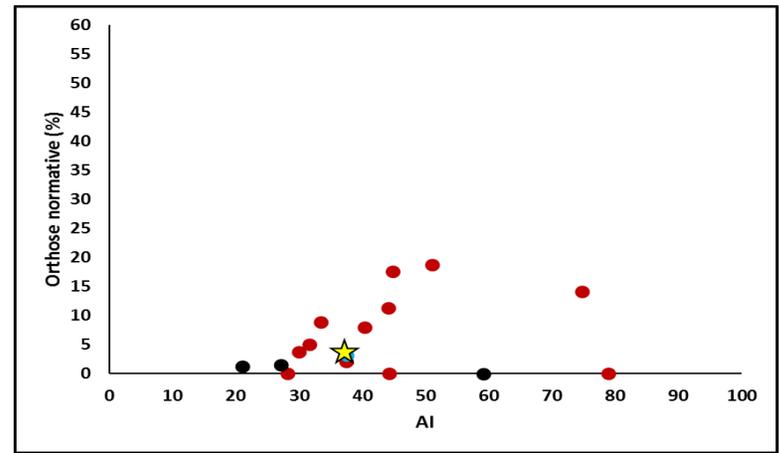
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

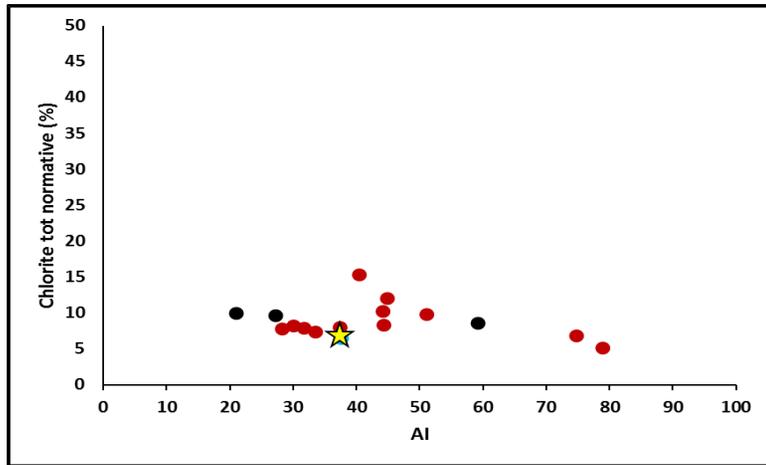


C) Sérícite totale normative vs AI

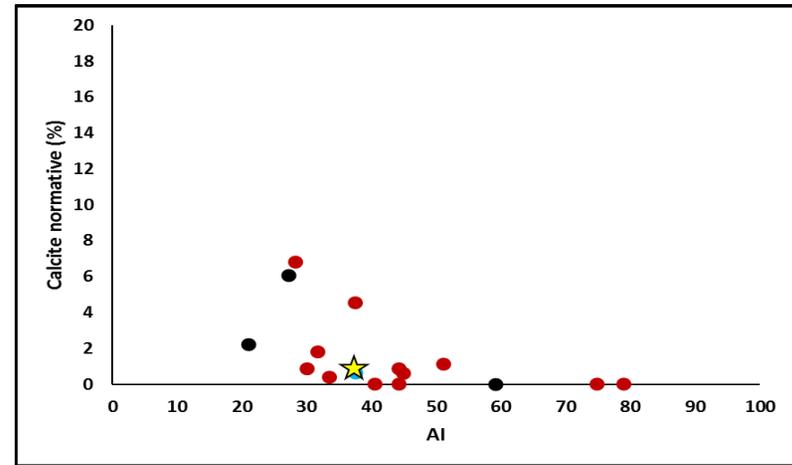


D) Orthose normative vs AI

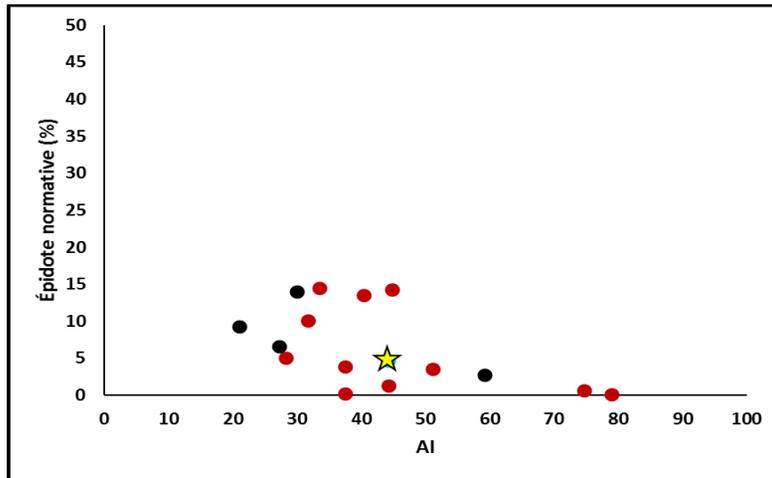
Figure D-7 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 5A Dacites type 2



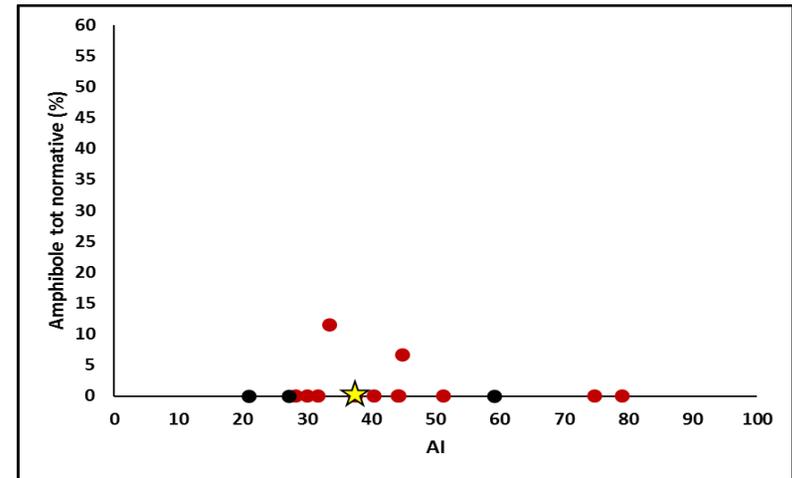
E) Chlorite normative vs AI



F) Calcite normative vs AI

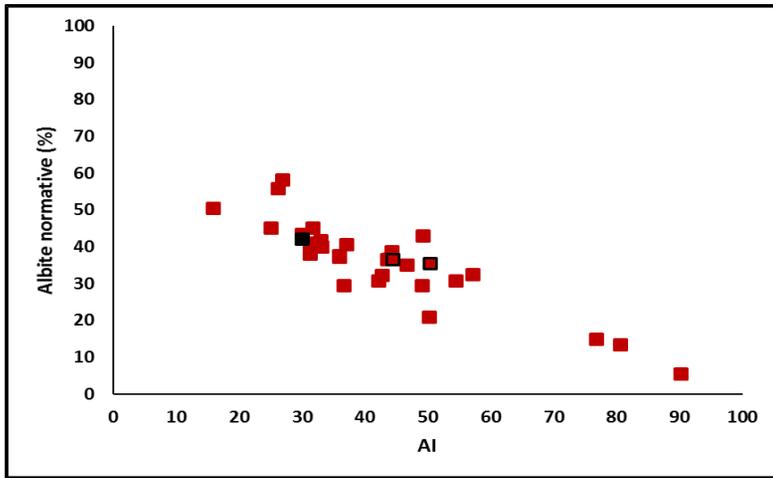


F) Épidote normative

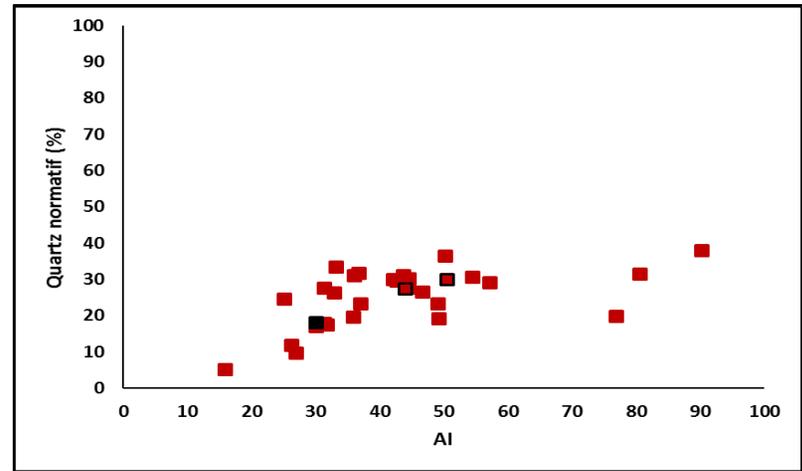


G) Amphibole totale normative vs AI

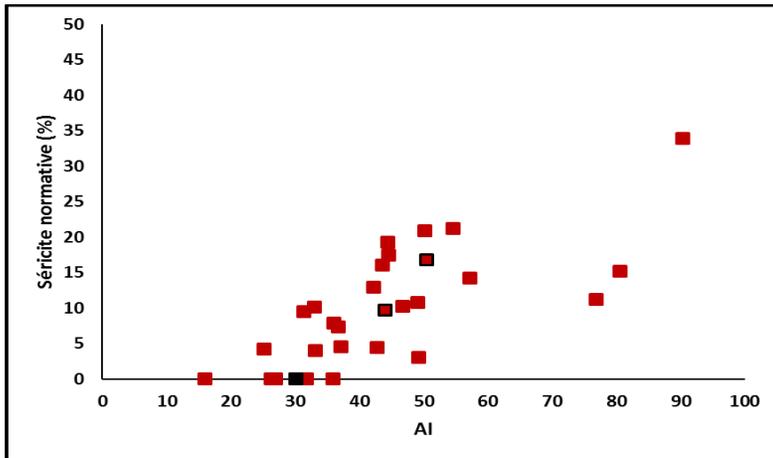
Figure D-7 (suite)



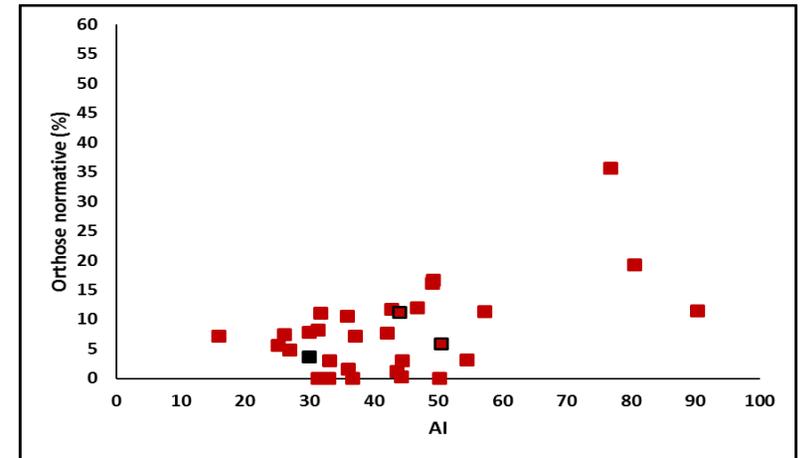
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

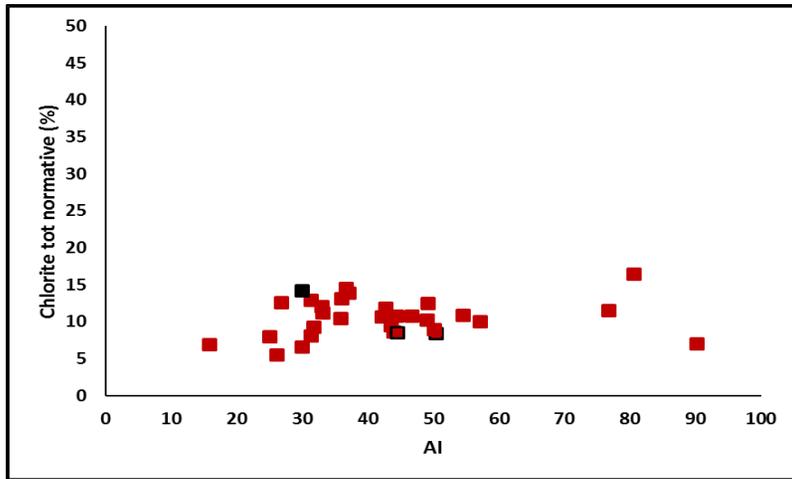


C) Sérícite totale normative vs AI

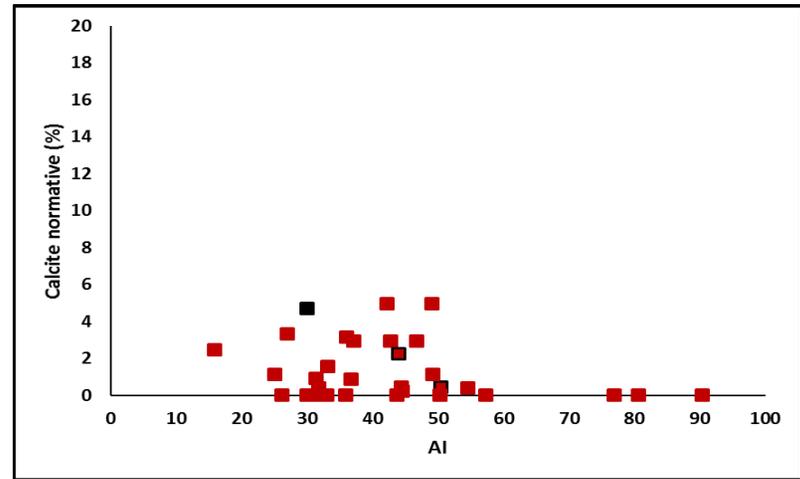


D) Orthose normative vs AI

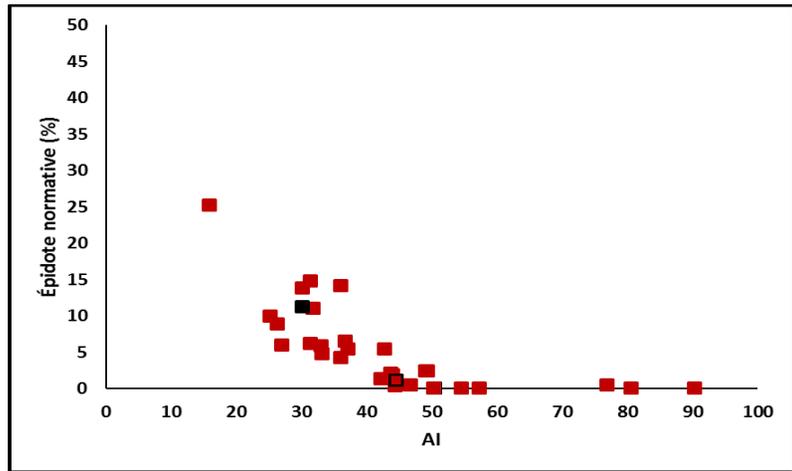
Figure D-8 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 5A Intrusions Dacitiques type 2



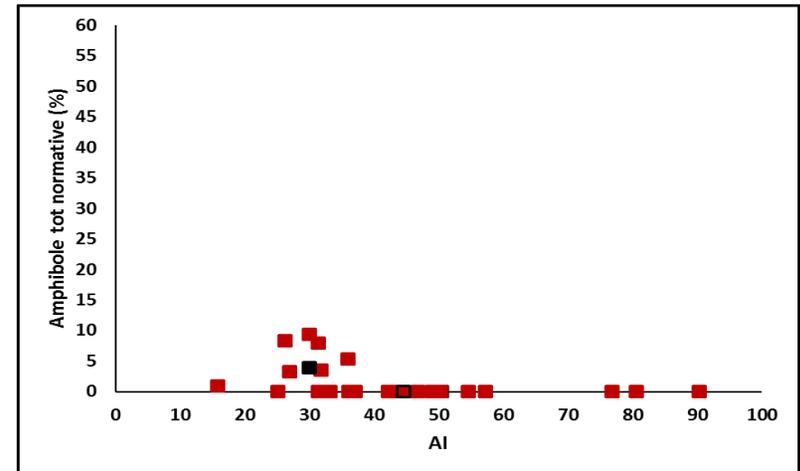
E) Chlorite normative vs AI



F) Calcite normative vs AI

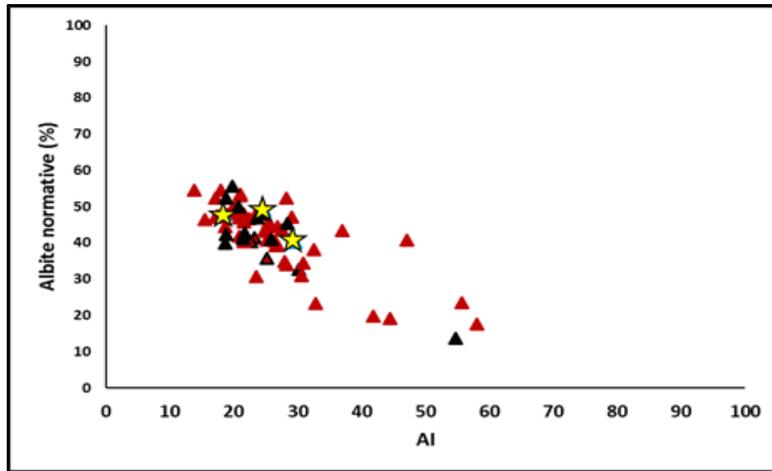


G) Épidote normative

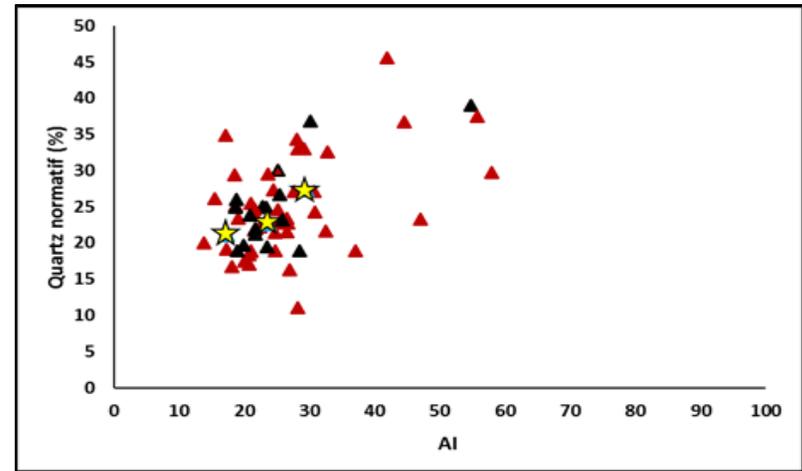


H) Amphibole totale normative vs AI

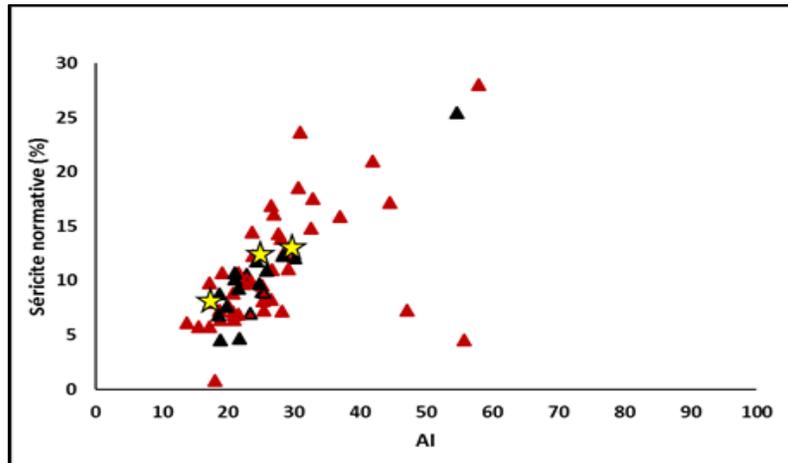
Figure D-8 (suite)



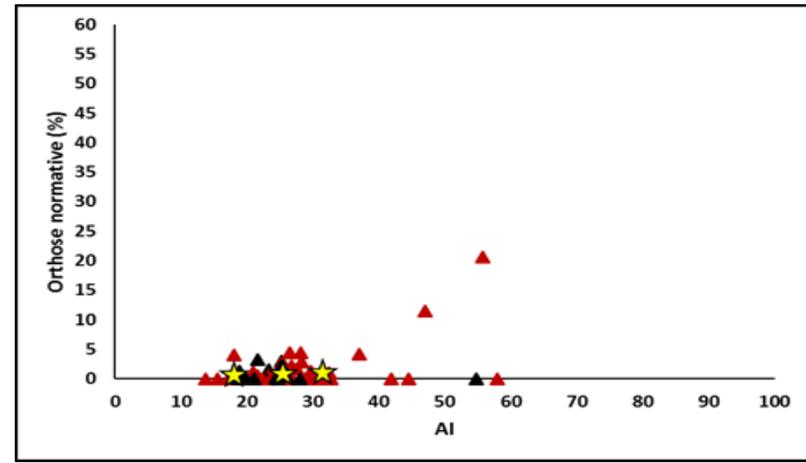
A) Albite normative vs AI



B) Quartz normatif vs AI

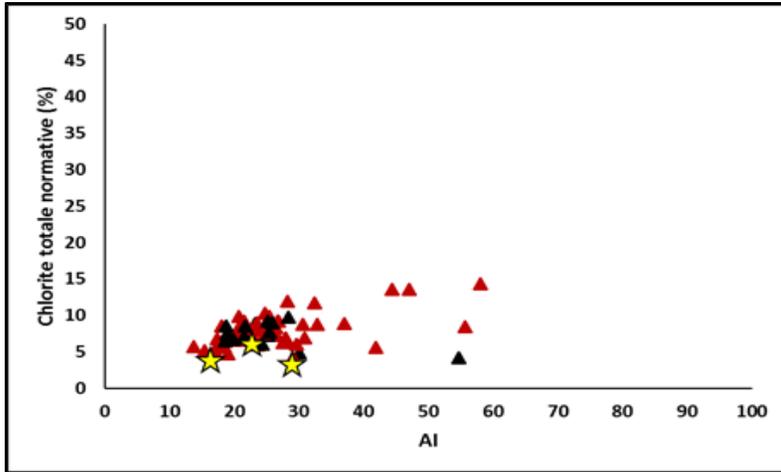


C) Sérícite totale normative vs AI

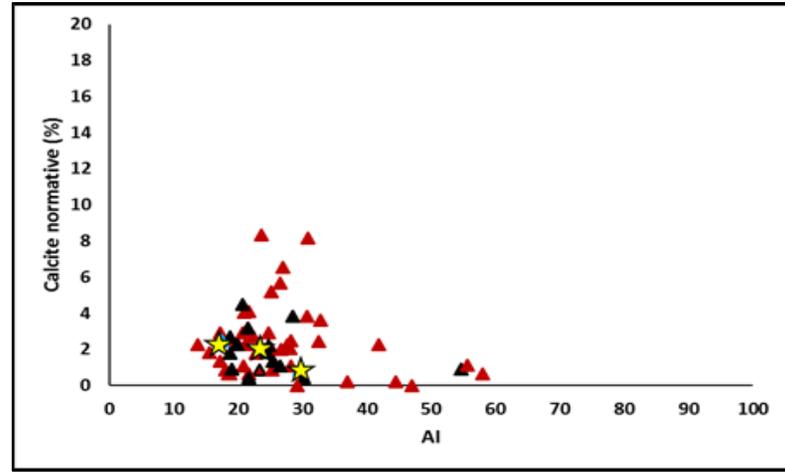


D) Orthose normative vs AI

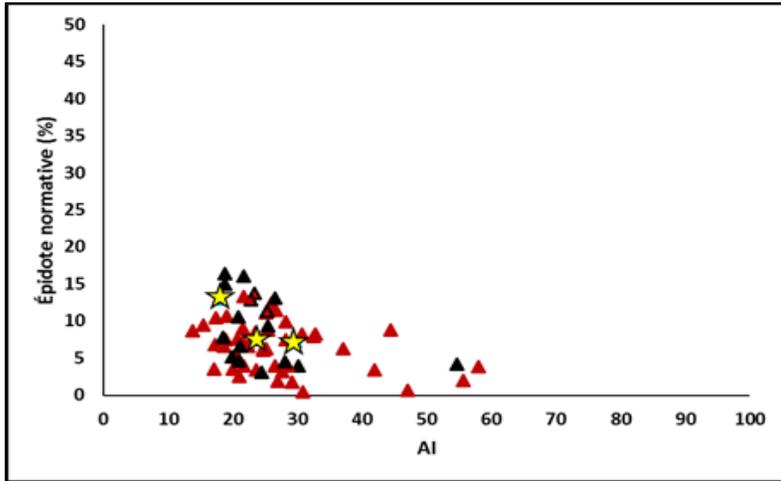
Figure D-9 : Variations des compositions de minéraux normatifs vs AI – Unité 5B Andésites alcalines type 2



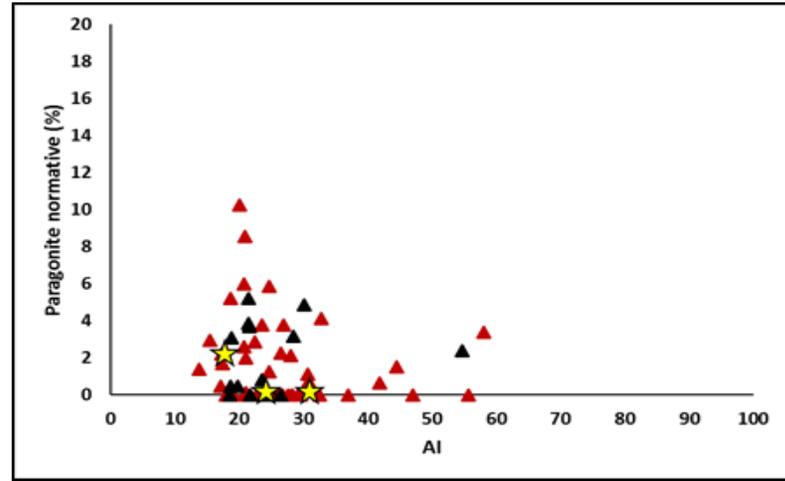
E) Chlorite normative vs AI



F) Calcite normative vs AI



G) Épidote normative



I) Paragonite normative vs AI

Figure D- 9 (suite)

ANNEXE E– CALCULS DES PARAMÈTRES ET PN (LAWRENCE ET SCHESKE)

Tableau E. 1 : Basaltes andésitiques (unité 1)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-015	0,0000	0,0005	0,00005	0,0007	0,00037	0,0	0,00000	0,0013	0,0	0,023
AKA14-ENV-021	0,0007	0,0006	0,00025	0,0005	0,00034	0,0	0,00001	0,0010	0,0	0,014
AKA14-ENV-011	0,0002	0,0007	0,00001	0,0004	0,00039	0,0	0,00000	0,0012	0,0	0,075
AKA14-ENV-013	0,0000	0,0007	0,00003	0,0005	0,00043	0,0	0,00000	0,0013	0,0	0,032
AKA14-ENV-012	0,0000	0,0009	0,00003	0,0005	0,00039	0,0	0,00000	0,0011	0,0	0,027
CAEXD270976	0,0000	0,0007	0,00002	0,0006	0,00039	0,0	0,00000	0,0011	0,0	0,049
CAEXD270983	0,0000	0,0006	0,00022	0,0005	0,00051	0,0	0,00000	0,0010	0,0	0,012
CAEXD270984	0,0008	0,0002	0,00007	0,0002	0,00021	0,0	0,00008	0,0014	0,0	0,204
CAEXD270993	0,0000	0,0006	0,00009	0,0006	0,00039	0,0	0,00000	0,0012	0,0	0,006
CAEXD270995	0,0000	0,0009	0,00011	0,0006	0,00023	0,0	0,00022	0,0010	0,0	0,005
CAEXD271984	0,0010	0,0008	0,00024	0,0001	0,00003	0,0	0,00121	0,0004	0,0	0,000
CAEXD271989	0,0000	0,0007	0,00009	0,0007	0,00034	0,0	0,00011	0,0011	0,0	0,000
CAEXD272982	0,0000	0,0008	0,00011	0,0006	0,00028	0,0	0,00031	0,0009	0,0	0,009
CAEXD273478	0,0000	0,0001	0,00013	0,0005	0,00050	0,0	0,00005	0,0016	0,0	0,009
CAEXD272992	0,0000	0,0006	0,00006	0,0006	0,00037	0,0	0,00000	0,0013	0,0	0,042
CAEXD273489	0,0000	0,0011	0,00013	0,0006	0,00027	0,0	0,00013	0,0009	0,0	0,003
CAEXD273459	0,0000	0,0008	0,00002	0,0005	0,00036	0,0	0,00000	0,0012	0,0	0,036
CAEXD275977	0,0000	0,0006	0,00010	0,0007	0,00037	0,0	0,00000	0,0012	0,0	0,019
AKA14-ENV-059	0,0001	0,0005	0,00002	0,0005	0,00042	0,0	0,00000	0,0012	0,0	0,089
AKA14-ENV-062	0,0000	0,0008	0,00009	0,0006	0,00033	0,0	0,00013	0,0010	0,0	0,014
CAEXD273991	0,0000	0,0006	0,00014	0,0008	0,00036	0,0	0,00004	0,0010	0,0	0,000
AKA14-ENV-070	0,0000	0,0005	0,00006	0,0007	0,00041	0,0	0,00000	0,0012	0,0	0,023

C_i est la proportion (%) normative du minéral pour l'échantillon (voir annexe D), R_i est le taux de réactivité du minéral (Sverdrup, 1990) et M_i la masse molaire du minéral. (*) Masse molaire du clinocllore

Tableau E.1 (suite) Basaltes andésitiques (unité 1)

No. Échant.	Total $\sum(Ci* Ri)/Mi$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-015	0,0264	26,4	5,8	7,3
AKA14-ENV-021	0,0176	17,6	31,6	17,0
AKA14-ENV-011	0,0774	77,4	22,6	20,0
AKA14-ENV-013	0,0354	35,4	11,7	12,0
AKA14-ENV-012	0,0303	30,3	8,2	12,0
CAEXD270976	0,0516	51,6		
CAEXD270983	0,0147	14,7		
CAEXD270984	0,2067	206,9		
CAEXD270993	0,0089	8,9	6,8	
CAEXD270995	0,0080	8,0	4,7	
CAEXD271984	0,0038	3,8		
CAEXD271989	0,0030	3,0		
CAEXD272982	0,0121	12,1	14,8	
CAEXD273478	0,0123	12,3		
CAEXD272992	0,0450	45,1		
CAEXD273489	0,0057	5,7	35,2	
CAEXD273459	0,0386	38,6		
CAEXD275977	0,0215	21,5		
AKA14-ENV-059	0,0914	91,4	63,1	65
AKA14-ENV-062	0,0168	16,8	17,4	57
CAEXD273991	0,0029	2,9		
AKA14-ENV-070	0,0257	25,7	12,7	15

PN_{LS} le potentiel de neutralisation selon Lawrence et Scheske.

PN_{Carb} : Potentiel de neutralisation carbonate (Annexe C)

PN_{Acisol} : Potentiel de neutralisation selon l'essai Acisol (Annexe C)

Tableau E. 2 : Basaltes ferro titanifères (unité 2)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-061	0,00003	0,00105	0,00009	0,00042	0,00037	0	0,00000	0,00078	0,0	0,0561
AKA14-ENV-041	0,00000	0,00113	0,00008	0,00044	0,00047	0	0,00000	0,00069	0,0	0,0175
CAEXD270999	0,00000	0,00130	0,00005	0,00045	0,00043	0	0,00002	0,00064	0,0	0,0000
CAEXD271988	0,00000	0,00111	0,00003	0,00040	0,00048	0	0,00003	0,00078	0,0	0,0112
CAEXD273750	0,00115	0,00063	0,00045	0,00007	0,00010	0	0,00079	0,00046	0,0	0,0000
CAEXD275982	0,00000	0,00114	0,00004	0,00036	0,00039	0	0,00000	0,00074	0,0	0,0559

Tableau E.2 (suite) : Basaltes ferro titanifères (unité 2)

No. Échant.	Total $\sum(C_i * R_i) / M_i$	PN_{LS}	PN_{Carb}	PN_{Acisol}
AKA-14-061	0,05889	58,9	38,7	28,0
AKA-14-041	0,02029	20,3	44,1	39,0
CAEXD270999	0,00289	2,9		
CAEXD271988	0,01402	14,0		
CAEXD273750	0,00363	3,6	2,50	
CAEXD275982	0,05862	58,7	11,7	

Tableau E. 3 : Andésites (unité 3)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595,22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-018	0,0016	0,0004	0,0013	0,00002	0,00002	0,0	0,00044	0,0005	0,0	0,0000
CAEXD270979	0,0001	0,0005	0,0009	0,00014	0,00023	0,0	0,00000	0,0013	0,0	0,0343
AKA14-ENV-022	0,0019	0,0010	0,0004	0,00009	0,00009	0,0	0,00011	0,0006	0,0	0,0199
AKA14-ENV-016	0,0010	0,0011	0,0002	0,00005	0,00005	0,0	0,00043	0,0011	0,0	0,0084
AKA14-ENV-020	0,0002	0,0007	0,0016	0,00012	0,00011	0,0	0,00013	0,0006	0,0	0,0111
AKA14-ENV-017	0,0012	0,0010	0,0003	0,00000	0,00000	0,00008	0,00050	0,0010	0,0	0,0269
AKA14-ENV-019	0,0013	0,0002	0,0016	0,00000	0,00000	0,00003	0,00049	0,0004	0,0	0,0178
CAEXD270980	0,0000	0,0004	0,0020	0,00012	0,00012	0,0	0,00018	0,0005	0,0	0,0017
CAEXD270981	0,0017	0,0018	0,0003	0,00000	0,00000	0,0	0,00016	0,0004	0,0	0,0156
CAEXD270978	0,0010	0,0013	0,0001	0,00005	0,00005	0,0	0,00048	0,0010	0,0	0,0060
CAEXD270986	0,0009	0,0012	0,0001	0,00008	0,00010	0,0	0,00030	0,0012	0,0	0,0128
CAEXD270987	0,0000	0,0014	0,0001	0,00009	0,00029	0,0	0,00010	0,0013	0,0	0,0056
AKA14-ENV-044	0,0013	0,0008	0,0003	0,00001	0,00001	0,0	0,00056	0,0012	0,0	0,0014
AKA14-ENV-043	0,0011	0,0012	0,0001	0,00008	0,00005	0,0	0,00033	0,0011	0,0	0,0060
AKA14-ENV-045	0,0011	0,0011	0,0003	0,00000	0,00000	0,0	0,00043	0,0011	0,0	0,0063
CAEXD271000	0,0014	0,0008	0,0002	0,00000	0,00000	0,0	0,00055	0,0012	0,0	0,0000
AKA14-ENV-042	0,0005	0,0016	0,0002	0,00013	0,00013	0,0	0,00010	0,0010	0,0	0,0355
CAEXD271976	0,0002	0,0014	0,0002	0,00019	0,00019	0,0	0,00001	0,0013	0,0	0,0100
CAEXD273742	0,0016	0,0008	0,0005	0,00006	0,00025	0,0	0,00005	0,0008	0,0	0,0125
CAEXD273737	0,0001	0,0007	0,0018	0,00016	0,00015	0,0	0,00000	0,0005	0,0	0,0179
CAEXD273735	0,0015	0,0009	0,0002	0,00002	0,00001	0,0	0,00055	0,0010	0,0	0,0013
CAEXD273736	0,0005	0,0013	0,0003	0,00014	0,00013	0,0	0,00008	0,0012	0,0	0,0192
AKA14-ENV-063	0,0008	0,0013	0,0003	0,00004	0,00003	0,0	0,00031	0,0012	0,0	0,0243
CAEXD275983	0,0009	0,0011	0,0001	0,00013	0,00011	0,0	0,00034	0,0013	0,0	0,0036

Tableau E.3 (suite) : Andésites (unité 3)

No. Échant.	Total $\sum(C_i \cdot R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-018	0,0042	4,2	6,5	12,0
CAEXD270979	0,0374	37,4	52,6	
AKA14-ENV-022	0,0241	24,2	20,9	30,0
AKA14-ENV-016	0,0124	12,4	12,5	17,0
AKA14-ENV-020	0,0146	14,6	12,6	15,0
AKA14-ENV-017	0,0309	30,9	28,3	32,0
AKA14-ENV-019	0,0218	21,8	33,8	22,0
CAEXD270980	0,0051	5,1		
CAEXD270981	0,0200	20,0		
CAEXD270978	0,0100	10,0		
CAEXD270986	0,0167	16,7		
CAEXD270987	0,0089	8,9		
AKA14-ENV-044	0,0055	5,6	3,8	4,9
AKA14-ENV-043	0,0100	10,0	11,3	7,2
AKA14-ENV-045	0,0104	10,4	8,9	12,0
CAEXD271000	0,0042	4,2	9,0	
AKA14-ENV-042	0,0390	39,1	48,0	41,0
CAEXD271976	0,0135	13,5		
CAEXD273742	0,0165	16,6		
CAEXD273737	0,0212	21,2		
CAEXD273735	0,0056	5,6		
CAEXD273736	0,0229	22,9		
AKA14-ENV-063	0,0281	28,2	28,5	15,0
CAEXD275983	0,0075	7,5	5,5	

Tableau E. 4 : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-004	0,0024	0,0006	0,0000	0,00000	0,00000	0,00054	0,0004	0,00019	0,00003	0,0000
AKA14-ENV-014	0,0009	0,0017	0,0001	0,00016	0,00036	0,00000	0,0000	0,00041	0,00000	0,0009
CAEXD270977	0,0034	0,0012	0,0001	0,00002	0,00004	0,00000	0,0001	0,00019	0,00000	0,0179
CAEXD270988	0,0035	0,0001	0,0007	0,00000	0,00000	0,00023	0,0002	0,00021	0,00000	0,0337
AKA14-ENV-023	0,0013	0,0013	0,0003	0,00002	0,00001	0,00000	0,0006	0,00060	0,00000	0,0043
AKA14-ENV-024	0,0014	0,0015	0,0002	0,00000	0,00000	0,00005	0,0005	0,00038	0,00000	0,0064
CAEXD272476	0,0013	0,0017	0,0002	0,00000	0,00000	0,00003	0,0004	0,00040	0,00000	0,0087
AKA14-ENV-025	0,0016	0,0013	0,0001	0,00000	0,00000	0,00040	0,0005	0,00002	0,00000	0,0316
AKA14-ENV-030	0,0017	0,0011	0,0000	0,00000	0,00000	0,00044	0,0004	0,00029	0,00000	0,0000
CAEXD270996	0,0012	0,0016	0,0006	0,00000	0,00000	0,00006	0,0004	0,00021	0,00000	0,0064
AKA14-ENV-034	0,0025	0,0009	0,0000	0,00000	0,00000	0,00054	0,0004	0,00000	0,00009	0,0000
AKA14-ENV-036	0,0015	0,0016	0,0002	0,00000	0,00000	0,00030	0,0005	0,00005	0,00000	0,0000
AKA14-ENV-037	0,0018	0,0010	0,0005	0,00000	0,00000	0,00023	0,0005	0,00030	0,00000	0,0090
CAEXD272483	0,0013	0,0014	0,0003	0,00000	0,00000	0,00001	0,0006	0,00049	0,00000	0,0177
CAEXD272484	0,0015	0,0009	0,0005	0,00000	0,00000	0,00042	0,0006	0,00015	0,00000	0,0043
CAEXD272481	0,0013	0,0012	0,0002	0,00000	0,00000	0,00014	0,0007	0,00045	0,00000	0,0064
CAEXD272480	0,0018	0,0016	0,0001	0,00000	0,00000	0,00028	0,0004	0,00001	0,00000	0,0000
CAEXD272493	0,0015	0,0012	0,0003	0,00000	0,00000	0,00013	0,0006	0,00044	0,00000	0,0134
CAEXD272492	0,0021	0,0013	0,0002	0,00000	0,00000	0,00018	0,0004	0,00015	0,00000	0,0178
CAEXD272489	0,0013	0,0012	0,0005	0,00000	0,00000	0,00001	0,0006	0,00047	0,00000	0,0000
CAEXD271987	0,0024	0,0008	0,0003	0,00000	0,00000	0,00035	0,0004	0,00000	0,00000	0,0407
CAEXD271978	0,0008	0,0017	0,0002	0,00000	0,00000	0,00030	0,0006	0,00006	0,00000	0,0270
CAEXD272978	0,0022	0,0005	0,0007	0,00000	0,00000	0,00041	0,0004	0,00002	0,00000	0,0000
AKA14-ENV-049	0,0021	0,0010	0,0001	0,00000	0,00000	0,00036	0,0005	0,00017	0,00000	0,0267
AKA14-ENV-050	0,0019	0,0013	0,0000	0,00000	0,00000	0,00033	0,0005	0,00011	0,00000	0,0245
CAEXD272499	0,0022	0,0010	0,0001	0,00000	0,00000	0,00034	0,0005	0,00017	0,00000	0,0221
CAEXD271995	0,0015	0,0007	0,0004	0,00000	0,00000	0,00013	0,0008	0,00058	0,00000	0,0000
CAEXD271991	0,0019	0,0009	0,0000	0,00000	0,00000	0,00032	0,0006	0,00049	0,00000	0,0081
CAEXD271996	0,0019	0,0015	0,0003	0,00000	0,00000	0,00035	0,0003	0,00000	0,00000	0,0000
CAEXD273477	0,0018	0,0014	0,0004	0,00000	0,00000	0,00024	0,0003	0,00000	0,00000	0,0022
CAEXD272000	0,0022	0,0007	0,0007	0,00000	0,00000	0,00022	0,0003	0,00012	0,00000	0,0000
CAEXD272987	0,0021	0,0003	0,0008	0,00000	0,00000	0,00035	0,0006	0,00002	0,00000	0,0000

Tableau E.4 (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
CAEXD273482	0,0017	0,0011	0,0000	0,00000	0,00000	0,00034	0,0004	0,00054	0,00000	0,0000
CAEXD273480	0,0015	0,0015	0,0001	0,00000	0,00000	0,00021	0,0006	0,00016	0,00000	0,0174
CAEXD273487	0,0013	0,0009	0,0008	0,00000	0,00000	0,00023	0,0004	0,00026	0,00000	0,0314
CAEXD272993	0,0020	0,0014	0,0006	0,00000	0,00000	0,00009	0,0004	0,00000	0,00000	0,0000
CAEXD273740	0,0023	0,0011	0,0004	0,00000	0,00000	0,00031	0,0002	0,00002	0,00000	0,0000
CAEXD273741	0,0017	0,0008	0,0012	0,00000	0,00000	0,00005	0,0003	0,00014	0,00000	0,0020
CAEXD273726	0,0016	0,0012	0,0001	0,00000	0,00000	0,00037	0,0006	0,00019	0,00000	0,0130
CAEXD273733	0,0015	0,0011	0,0009	0,00000	0,00000	0,00030	0,0002	0,00005	0,00000	0,0021
CAEXD273731	0,0013	0,0009	0,0009	0,00000	0,00000	0,00034	0,0003	0,00008	0,00000	0,0000
CAEXD273455	0,0020	0,0007	0,0000	0,00000	0,00000	0,00049	0,0006	0,00032	0,00000	0,0201
CAEXD273500	0,0022	0,0006	0,0000	0,00000	0,00000	0,00051	0,0005	0,00000	0,00025	0,0221
CAEXD273998	0,0011	0,0013	0,0009	0,00000	0,00000	0,00004	0,0006	0,00019	0,00000	0,0000
CAEXD273995	0,0018	0,0012	0,0001	0,00000	0,00000	0,00041	0,0006	0,00011	0,00000	0,0130
CAEXD273997	0,0020	0,0005	0,0007	0,00000	0,00000	0,00046	0,0005	0,00000	0,00000	0,0000
CAEXD275978	0,0011	0,0007	0,0008	0,00000	0,00000	0,00007	0,0008	0,00023	0,00000	0,0673
CAEXD273747	0,0018	0,0012	0,0000	0,00000	0,00000	0,00041	0,0005	0,00014	0,00015	0,0000
AKA14-ENV-064	0,0023	0,0006	0,0000	0,00000	0,00000	0,00055	0,0005	0,00022	0,00008	0,0022
CAEXD273496	0,0009	0,0011	0,0004	0,00000	0,00000	0,00002	0,0008	0,00051	0,00000	0,0197
CAEXD273497	0,0011	0,0018	0,0001	0,00000	0,00000	0,00023	0,0005	0,00005	0,00000	0,0675
CAEXD273988	0,0018	0,0009	0,0007	0,00000	0,00000	0,00035	0,0004	0,00000	0,00000	0,0000
CAEXD273987	0,0018	0,0009	0,0007	0,00000	0,00000	0,00011	0,0004	0,00028	0,00000	0,0427
AKA14-ENV-071	0,0018	0,0010	0,0001	0,00000	0,00000	0,00039	0,0006	0,00013	0,00000	0,0266

Tableau E.4 (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

No. Échant.	Total $\Sigma(Ci \cdot Ri)/Mi$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-004	0,0018	1,8	1,9	10,0
AKA14-ENV-014	0,0036	3,6	36,7	22,0
CAEXD270977	0,0195	19,5	31,4	
CAEXD270988	0,0351	35,1		
AKA14-ENV-023	0,0071	7,1	9,2	12,0
AKA14-ENV-024	0,0091	9,1	8,5	10,0
CAEXD272476	0,0115	11,5	21,9	
AKA14-ENV-025	0,0340	34,0	39,1	29,0
AKA14-ENV-030	0,0023	2,3	1,6	2,5
CAEXD270996	0,0093	9,3	38,2	
AKA14-ENV-034	0,0019	1,9	4,4	2,5
AKA14-ENV-036	0,0026	2,6	6,7	4,8
AKA14-ENV-037	0,0114	11,4	27,4	12,0
CAEXD272483	0,0205	20,5	25,1	
CAEXD272484	0,0068	6,8	21,4	
CAEXD272481	0,0091	9,1		
CAEXD272480	0,0025	2,5		
CAEXD272493	0,0160	16,0		
CAEXD272492	20,1			
CAEXD272489	2,8			
CAEXD271987	44,1			
CAEXD271978	29,9			
CAEXD272978	2,0	1,8		
AKA14-ENV-049	28,8	38,9	27,0	
AKA14-ENV-050	26,7	31,7	24,0	
CAEXD272499	24,2			
CAEXD271995	2,6			
CAEXD271991	10,4			
CAEXD271996	2,4			
CAEXD273477	31,7			
CAEXD272000	2,1			
CAEXD272987	2,1			

Tableau E.4 (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 4A)

No. Échant.	Total $\sum(C_i \cdot R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
CAEXD273482	2,4	7,9		
CAEXD273480	19,9			
CAEXD273487	34,0			
CAEXD272993	2,4			
CAEXD273740	2,1			
CAEXD273741	4,4			
CAEXD273726	15,5			
CAEXD273733	4,6			
CAEXD273731	2,6			
CAEXD273455	22,2			
CAEXD273500	68,0			
CAEXD273998	2,9			
CAEXD273995	15,3			
CAEXD273997	2,2			
CAEXD275978	69,9	35,2		
CAEXD273747	2,4	2,08		
AKA14-ENV-064	4,1	9,6	9,9	
CAEXD273496	22,6	22,6		
CAEXD273497	70,3	77,9		
CAEXD273988	0,0023	2,3		
CAEXD273987	0,0450	45,1		
AKA14-ENV-071	0,0288	28,9	25,2	25,0

Tableau E. 5 : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-006	0,0017	0,0009	0,0006	0,00000	0,00000	0,00041	0,00040	0,00000	0,0	0,0000
AKA14-ENV-007	0,0012	0,0015	0,0006	0,00000	0,00000	0,00006	0,00049	0,00015	0,0	0,0000
AKA14-ENV-010	0,0008	0,0018	0,0005	0,00010	0,00008	0,00000	0,00026	0,00027	0,0	0,0000
AKA14-ENV-009	0,0011	0,0017	0,0005	0,00003	0,00003	0,00000	0,00037	0,00031	0,0	0,0041
AKA14-ENV-008	0,0007	0,0018	0,0005	0,00006	0,00005	0,00000	0,00033	0,00032	0,0	0,0000
AKA14-ENV-032	0,0018	0,0012	0,0001	0,00000	0,00000	0,00020	0,00046	0,00049	0,0	0,0022
AKA14-ENV-033	0,0018	0,0012	0,0001	0,00000	0,00000	0,00025	0,00050	0,00039	0,0	0,0000
CAEXD270994	0,0005	0,0019	0,0002	0,00032	0,00011	0,00000	0,00016	0,00053	0,0	0,0037
CAEXD270990	0,0016	0,0015	0,0001	0,00000	0,00000	0,00012	0,00051	0,00048	0,0	0,0019
AKA14-ENV-038	0,0015	0,0011	0,0006	0,00000	0,00000	0,00022	0,00058	0,00003	0,0	0,0000
CAEXD270997	0,0006	0,0013	0,0011	0,00007	0,00004	0,00000	0,00026	0,00023	0,0	0,0359
AKA14-ENV-040	0,0037	0,0004	0,0004	0,00000	0,00000	0,00019	0,00026	0,00010	0,0	0,0113
AKA14-ENV-039	0,0021	0,0012	0,0004	0,00000	0,00000	0,00010	0,00034	0,00023	0,0	0,0156
CAEXD270998	0,0048	0,0000	0,0003	0,00000	0,00000	0,00024	0,00015	0,00003	0,0	0,0200
CAEXD271985	0,0011	0,0017	0,0006	0,00000	0,00000	0,00004	0,00046	0,00011	0,0	0,0178
CAEXD271980	0,0014	0,0017	0,0001	0,00003	0,00002	0,00000	0,00041	0,00054	0,0	0,0200
CAEXD272979	0,0014	0,0016	0,0006	0,00002	0,00001	0,00000	0,00037	0,00016	0,0	0,0133
CAEXD273476	0,0007	0,0018	0,0007	0,00006	0,00005	0,00000	0,00035	0,00006	0,0	0,0245
CAEXD271999	0,0008	0,0017	0,0005	0,00007	0,00005	0,00000	0,00035	0,00031	0,0	0,0083
CAEXD271997	0,0014	0,0014	0,0006	0,00000	0,00000	0,00025	0,00047	0,00000	0,0	0,0000
CAEXD272990	0,0007	0,0019	0,0005	0,00008	0,00007	0,00000	0,00033	0,00016	0,0	0,0063
CAEXD272989	0,0009	0,0017	0,0006	0,00006	0,00004	0,00000	0,00036	0,00028	0,0	0,0000
CAEXD272988	0,0009	0,0014	0,0009	0,00000	0,00000	0,00009	0,00051	0,00004	0,0	0,0000
CAEXD273488	0,0016	0,0011	0,0011	0,00000	0,00000	0,00005	0,00029	0,00007	0,0	0,0110
CAEXD273485	0,0020	0,0004	0,0008	0,00000	0,00000	0,00041	0,00053	0,00000	0,0	0,0000
AKA14-ENV-055	0,0013	0,0008	0,0002	0,00007	0,00003	0,00000	0,00129	0,00028	0,0	0,0145
CAEXD273486	0,0000	0,0016	0,0007	0,00007	0,00011	0,00000	0,00051	0,00020	0,0	0,0424
CAEXD272994	0,0014	0,0014	0,0006	0,00000	0,00000	0,00014	0,00046	0,00006	0,0	0,0000
CAEXD273739	0,0016	0,0011	0,0006	0,00000	0,00000	0,00030	0,00042	0,00004	0,0	0,0000
CAEXD273732	0,0015	0,0015	0,0006	0,00000	0,00000	0,00008	0,00036	0,00009	0,0	0,0000
CAEXD273734	0,0014	0,0017	0,0005	0,00005	0,00004	0,00000	0,00031	0,00012	0,0	0,0154
CAEXD273457	0,0019	0,0009	0,0008	0,00000	0,00000	0,00029	0,00023	0,00003	0,0	0,0088

Tableau E.5 (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
CAEXD274000	0,0012	0,0016	0,0006	0,00000	0,00000	0,00004	0,00035	0,00018	0,0	0,0473
AKA14-ENV-056	0,0016	0,0012	0,0007	0,00005	0,00002	0,00000	0,00046	0,00015	0,0	0,0087
AKA14-ENV-058	0,0017	0,0014	0,0004	0,00000	0,00000	0,00013	0,00034	0,00013	0,0	0,0363
CAEXD275980	0,0010	0,0019	0,0003	0,00000	0,00000	0,00000	0,00046	0,00017	0,0	0,0313
CAEXD273745	0,0016	0,0015	0,0001	0,00000	0,00000	0,00010	0,00044	0,00045	0,0	0,0224
CAEXD275985	0,0008	0,0018	0,0006	0,00003	0,00002	0,00000	0,00042	0,00010	0,0	0,0333
CAEXD273499	0,0016	0,0013	0,0001	0,00000	0,00000	0,00021	0,00043	0,00036	0,0	0,0562
CAEXD273990	0,0015	0,0014	0,0007	0,00001	0,00001	0,00000	0,00040	0,00013	0,0	0,0270
CAEXD273989	0,0011	0,0016	0,0007	0,00005	0,00005	0,00000	0,00033	0,00018	0,0	0,0019
CAEXD273985	0,0010	0,0021	0,0005	0,00000	0,00000	0,00006	0,00033	0,00008	0,0	0,0179
CAEXD273986	0,0015	0,0015	0,0006	0,00002	0,00003	0,00000	0,00039	0,00017	0,0	0,0110
CAEXD273983	0,0016	0,0013	0,0007	0,00000	0,00000	0,00000	0,00039	0,00017	0,0	0,0111
CAEXD273981	0,0023	0,0010	0,0005	0,00000	0,00000	0,00019	0,00028	0,00011	0,0	0,0112
CAEXD273982	0,0011	0,0017	0,0006	0,00006	0,00005	0,00000	0,00033	0,00028	0,0	0,0000
CAEXD273984	0,0006	0,0019	0,0006	0,00008	0,00007	0,00000	0,00028	0,00015	0,0	0,0130
AKA14-ENV-082	0,0010	0,0015	0,0004	0,00018	0,00007	0,00000	0,00031	0,00054	0,0	0,0017
AKA14-ENV-085	0,0010	0,0015	0,0003	0,00016	0,00007	0,00000	0,00035	0,00052	0,0	0,0000
AKA14-ENV-084	0,0010	0,0013	0,0004	0,00018	0,00009	0,00000	0,00031	0,00058	0,0	0,0000

Tableau E.5 (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

No. Échant.	Total $\sum(C_i * R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-006	0,0041	4,1	2,5	5,0
AKA14-ENV-007	0,0041	4,1	17,0	9,9
AKA14-ENV-010	0,0039	3,9	8,7	10,0
AKA14-ENV-009	0,0081	8,1	16,9	17,0
AKA14-ENV-008	0,0039	3,9	13,2	17,0
AKA14-ENV-032	0,0065	6,5	0,9	5,0
AKA14-ENV-033	0,0042	4,3	1,0	5,0
CAEXD270994	0,0073	7,3	9,0	
CAEXD270990	0,0062	6,2		
AKA14-ENV-038	0,0040	4,0	2,2	2,5
CAEXD270997	0,0395	39,6	1,5	
AKA14-ENV-040	0,0163	16,4	14,7	17,0
AKA14-ENV-039	0,0200	20,0	38,6	31,0
CAEXD270998	0,0255	25,6	22,9	
CAEXD271985	0,0217	21,8		
CAEXD271980	0,0242	24,2		
CAEXD272979	0,0174	17,5	22,9	
CAEXD273476	0,0282	28,3		
CAEXD271999	0,0121	12,2		
CAEXD271997	0,0041	4,1		
CAEXD272990	0,0101	10,1		
CAEXD272989	0,0040	4,0		
CAEXD272988	0,0039	3,9		
CAEXD273488	0,0152	15,2	34,1	
CAEXD273485	0,0042	4,2	19,2	
AKA14-ENV-055	0,0184	18,4	21,9	20,0
CAEXD273486	0,0456	45,6	48,7	
CAEXD272994	0,0041	4,1		
CAEXD273739	0,0041	4,1		
CAEXD273732	0,0042	4,2		
CAEXD273734	0,0195	19,5		
CAEXD273457	0,0129	12,9		
CAEXD274000	0,0512	51,2		

Tableau E.5 (suite) : Intrusions dacitiques et QFP (unité 4A)

No. Échant.	Total $\sum(C_i * R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-056	0,0129	12,9	23,7	12,0
AKA14-ENV-058	0,0404	40,5	42,9	35,0
CAEXD275980	0,0352	35,2		
CAEXD273745	0,0266	26,6	28,3	
CAEXD275985	0,0371	37,1	50,2	
CAEXD273499	0,0603	60,3	16,3	
CAEXD273990	0,0311	31,1		
CAEXD273989	0,0059	5,9		
CAEXD273985	0,0219	21,9		
CAEXD273986	0,0151	15,2		
CAEXD273983	0,0153	15,3		
CAEXD273981	0,0157	15,7		
CAEXD273982	0,0040	4,0		
CAEXD273984	0,0167	16,8		
AKA14-ENV-082	0,0056	5,6	7,1	5,0
AKA14-ENV-085	0,0039	3,9	3,5	4,9
AKA14-ENV-084	0,0039	3,9	6,6	5,0

Tableau E. 6 : Andésites alcalines (unité 4B)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595,22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-031	0,0015	0,0017	0,00001	0,0	0,0	0,00022	0,0004	0,0003	0,0	0,0022
CAEXD270991	0,0015	0,0015	0,00021	0,0	0,0	0,00015	0,0004	0,0004	0,0	0,0043
CAEXD270992	0,0011	0,0020	0,00012	0,0	0,0	0,00014	0,0004	0,0001	0,0	0,0313
CAEXD272478	0,0021	0,0012	0,00000	0,0	0,0	0,00051	0,0004	0,0000	0,00004	0,0000
CAEXD271986	0,0014	0,0016	0,00013	0,0	0,0	0,00013	0,0005	0,0004	0,0	0,0222
CAEXD271983	0,0013	0,0019	0,00003	0,0	0,0	0,00020	0,0004	0,0002	0,0	0,0000
CAEXD271994	0,0017	0,0015	0,00003	0,0	0,0	0,00036	0,0004	0,0001	0,0	0,0021
CAEXD271993	0,0022	0,0011	0,00004	0,0	0,0	0,00040	0,0004	0,0003	0,0	0,0067
CAEXD273749	0,0016	0,0015	0,00017	0,0	0,0	0,00036	0,0004	0,0001	0,0	0,0112
CAEXD273494	0,0014	0,0016	0,00033	0,0	0,0	0,00027	0,0003	0,0001	0,0	0,0272
AKA14-ENV-066	0,0018	0,0013	0,00012	0,0	0,0	0,00035	0,0004	0,0003	0,0	0,0068
AKA14-ENV-067	0,0018	0,0015	0,00006	0,0	0,0	0,00034	0,0004	0,0001	0,0	0,0022
AKA14-ENV-068	0,0013	0,0018	0,00010	0,0	0,0	0,00007	0,0004	0,0004	0,0	0,0131
AKA14-ENV-069	0,0011	0,0021	0,00012	0,0	0,0	0,00006	0,0003	0,0003	0,0	0,0155
CAEXD275981	0,0012	0,0018	0,00013	0,0	0,0	0,00006	0,0004	0,0005	0,0	0,0039

Tableau E.6 (suite) : Andésites alcalines de l'unité 4B

No. Échant.	Total $\sum(C_i \cdot R_i)/M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-031	0,0064	6,4	6,5	7,2
CAEXD270991	0,0084	8,4	30,3	
CAEXD270992	0,0352	35,2	57,9	
CAEXD272478	0,0042	4,3	2,6	
CAEXD271986	0,0262	26,3		
CAEXD271983	0,0041	4,1		
CAEXD271994	0,0063	6,3		
CAEXD271993	0,0110	11,0		
CAEXD273749	0,0153	15,3		
CAEXD273494	0,0312	31,2	24,0	
AKA14-ENV-066	0,0110	11,0	1,1	7,5
AKA14-ENV-067	0,0064	6,4	5,0	5,0
AKA14-ENV-068	0,0172	17,2	14,0	10
AKA14-ENV-069	0,0195	19,6	25,2	15
CAEXD275981	0,0080	8,0		

Tableau E. 7 : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-003	0,0028	0,00056	0,00000	0,00000	0,00000	0,00057	0,00029	0,00011	0,00019	0,00000
CAEXD272477	0,0022	0,00107	0,00014	0,00000	0,00000	0,00025	0,00027	0,00054	0,00000	0,00869
AKA14-ENV-035	0,0022	0,00134	0,00011	0,00000	0,00000	0,00034	0,00022	0,00015	0,00000	0,00669
CAEXD272491	0,0032	0,00009	0,00000	0,00000	0,00000	0,00094	0,00017	0,00000	0,00013	0,00000
CAEXD272977	0,0022	0,00118	0,00000	0,00000	0,00000	0,00041	0,00028	0,00005	0,00023	0,00000
CAEXD272500	0,0017	0,00128	0,00000	0,00000	0,00000	0,00045	0,00026	0,00019	0,00013	0,06794
CAEXD271998	0,0024	0,00096	0,00067	0,00000	0,00000	0,00005	0,00033	0,00013	0,00000	0,01119
CAEXD272995	0,0019	0,00137	0,00040	0,00000	0,00000	0,00015	0,00034	0,00018	0,00000	0,00889
CAEXD272996	0,0020	0,00130	0,00007	0,00000	0,00000	0,00049	0,00027	0,00001	0,00000	0,04526
CAEXD273738	0,0024	0,00052	0,00051	0,00000	0,00000	0,00056	0,00023	0,00003	0,00000	0,00000
CAEXD275988	0,0009	0,00158	0,00032	0,00020	0,00007	0,00000	0,00025	0,00056	0,00000	0,00380
CAEXD273493	0,0017	0,00115	0,00029	0,00000	0,00000	0,00010	0,00052	0,00052	0,00000	0,00000
CAEXD273492	0,0012	0,00157	0,00018	0,00000	0,00000	0,00034	0,00027	0,00039	0,00000	0,01808
CAEXD275984	0,0013	0,00106	0,00063	0,00011	0,00005	0,00000	0,00040	0,00055	0,00000	0,00629
AKA14-ENV-079	0,0014	0,00194	0,00004	0,00000	0,00000	0,00009	0,00034	0,00036	0,00000	0,02248
AKA14-ENV-078	0,0015	0,00146	0,00006	0,00000	0,00000	0,00034	0,00033	0,00026	0,00000	0,06095

Tableau E.7 (suite) : Dacites et tufs dacitiques (unité 5A)

No. Échant.	Total $\sum(C_i \cdot R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-003	0,0045	4,5	1,4	5,0
CAEXD272477	0,0132	13,2	17,8	
AKA14-ENV-035	0,0111	11,1	16,9	15,0
CAEXD272491	0,0204	20,4		
CAEXD272977	0,0043	4,3	1,8	
CAEXD272500	0,0719	72,0	65,8	
CAEXD271998	0,0157	15,7		
CAEXD272995	0,0132	13,3		
CAEXD272996	0,0494	49,4		
CAEXD273738	0,0042	4,2		
CAEXD275988	0,0077	7,7		
CAEXD273493	0,0043	4,3	10,4	
CAEXD273492	0,0221	22,1	14,7	
CAEXD275984	0,0104	10,4	15,8	
AKA14-ENV-079	0,0266	26,7	25,0	25,0
AKA14-ENV-078	0,0649	64,9	44,6	27,0

Tableau E. 8 : Intrusions dacitiques (unité 5A)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-005	0,00200	0,00135	0,00021	0,00000	0,00000	0,00042	0,00028	0,00000	0,00000	0,00450
CAEXD270982	0,00130	0,00143	0,00038	0,00009	0,00004	0,00000	0,00035	0,00055	0,00055	0,00000
CAEXD270985	0,00034	0,00192	0,00026	0,00001	0,00001	0,00000	0,00023	0,00097	0,00097	0,02458
CAEXD272482	0,00154	0,00112	0,00058	0,00000	0,00000	0,00027	0,00034	0,00009	0,00009	0,04966
CAEXD272495	0,00206	0,00142	0,00006	0,00000	0,00000	0,00020	0,00044	0,00016	0,00016	0,03167
CAEXD272494	0,00197	0,00123	0,00042	0,00000	0,00000	0,00011	0,00040	0,00021	0,00021	0,02927
CAEXD271982	0,00176	0,00159	0,00000	0,00000	0,00000	0,00025	0,00040	0,00023	0,00023	0,00000
CAEXD272980	0,00222	0,00153	0,00011	0,00000	0,00000	0,00010	0,00037	0,00019	0,00019	0,01579
CAEXD271992	0,00183	0,00145	0,00000	0,00000	0,00000	0,00024	0,00043	0,00024	0,00024	0,00899
CAEXD272991	0,00199	0,00117	0,00028	0,00000	0,00000	0,00032	0,00036	0,00005	0,00005	0,04976
CAEXD272985	0,00212	0,00112	0,00000	0,00000	0,00000	0,00018	0,00049	0,00025	0,00025	0,00869
CAEXD272986	0,00204	0,00117	0,00011	0,00000	0,00000	0,00053	0,00037	0,00000	0,00000	0,00410
CAEXD273484	0,00194	0,00124	0,00041	0,00000	0,00000	0,00035	0,00034	0,00000	0,00000	0,00000
CAEXD273483	0,00201	0,00140	0,00011	0,00000	0,00000	0,00043	0,00029	0,00004	0,00004	0,00210
CAEXD273490	0,00079	0,00212	0,00027	0,00012	0,00007	0,00000	0,00018	0,00034	0,00034	0,00000
CAEXD273730	0,00253	0,00021	0,00041	0,00000	0,00000	0,00085	0,00024	0,00000	0,00000	0,00000
CAEXD273458	0,00116	0,00172	0,00040	0,00005	0,00003	0,00000	0,00031	0,00042	0,00042	0,00390
CAEXD273999	0,00127	0,00164	0,00060	0,00000	0,00000	0,00008	0,00042	0,00009	0,00009	0,01109
CAEXD275976	0,00155	0,00155	0,00026	0,00000	0,00000	0,00011	0,00047	0,00021	0,00021	0,02927
CAEXD273996	0,00243	0,00079	0,00000	0,00000	0,00000	0,00052	0,00030	0,00000	0,00000	0,00000
AKA14-ENV-057	0,00182	0,00140	0,00040	0,00000	0,00000	0,00024	0,00029	0,00007	0,00007	0,02268
CAEXD275979	0,00176	0,00134	0,00043	0,00000	0,00000	0,00026	0,00036	0,00002	0,00002	0,02927
CAEXD275987	0,00064	0,00222	0,00017	0,00005	0,00003	0,00000	0,00042	0,00023	0,00023	0,03327
AKA14-ENV-060	0,00120	0,00160	0,00013	0,00007	0,00002	0,00000	0,00048	0,00043	0,00043	0,04686
CAEXD273748	0,00206	0,00139	0,00004	0,00000	0,00000	0,00040	0,00032	0,00008	0,00008	0,00000
CAEXD273495	0,00163	0,00172	0,00020	0,00000	0,00000	0,00011	0,00027	0,00039	0,00039	0,01109
CAEXD273978	0,00184	0,00148	0,00001	0,00000	0,00000	0,00048	0,00036	0,00001	0,00001	0,00440
CAEXD273980	0,00132	0,00057	0,00128	0,00000	0,00000	0,00028	0,00039	0,00002	0,00002	0,00000
CAEXD273979	0,00210	0,00051	0,00069	0,00000	0,00000	0,00038	0,00055	0,00000	0,00000	0,00000
AKA14-ENV-083	0,00114	0,00165	0,00028	0,00015	0,00007	0,00000	0,00022	0,00053	0,00053	0,00000
AKA14-ENV-081	0,00119	0,00156	0,00030	0,00013	0,00006	0,00000	0,00027	0,00057	0,00057	0,00000
AKA14-ENV-086	0,00113	0,00153	0,00031	0,00015	0,00006	0,00000	0,00025	0,00059	0,00059	0,00000

Tableau E.8 (suite) : Intrusions dacitiques (unité 5A)

No. Échant.	Total $\sum(C_i \cdot R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-005	0,00964	9,6	3,0	2,5
CAEXD270982	0,00468	4,7	9,3	
CAEXD270985	0,02929	29,3		
CAEXD272482	0,05370	53,7	63,7	
CAEXD272495	0,03617	36,2		
CAEXD272494	0,03382	33,9		
CAEXD271982	0,00446	4,5		
CAEXD272980	0,02049	20,5	21,6	
CAEXD271992	0,01342	13,4		
CAEXD272991	0,05398	54,0		
CAEXD272985	0,01311	13,1		
CAEXD272986	0,01459	14,6		
CAEXD273484	0,00428	4,3	1,8	
CAEXD273483	0,00642	6,4	6,8	
CAEXD273490	0,00424	4,2	2,8	
CAEXD273730	0,01559	15,6		
CAEXD273458	0,00842	8,4		
CAEXD273999	0,01528	15,3		
CAEXD275976	0,03363	33,7		
CAEXD273996	0,03892	39,0		
AKA14-ENV-057	0,02697	27,0	24,7	17,0
CAEXD275979	0,03346	33,5		
CAEXD275987	0,03726	37,3	36,2	
AKA14-ENV-060	0,05123	51,3	52,4	32,0
CAEXD273748	0,00437	4,4	2,08	
CAEXD273495	0,01578	15,8	12,6	
CAEXD273978	0,00859	8,6		
CAEXD273980	0,00388	3,9		
CAEXD273979	0,00662	6,6		
AKA14-ENV-083	0,00457	4,6	5,66	7,40
AKA14-ENV-081	0,00465	4,6	5,33	5,00
AKA14-ENV-086	0,00463	4,6	4,3	7,5

Tableau E. 9 : Andésites alcalines (unité 5B)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595.22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
AKA14-ENV-001	0,00260	0,00052	0,00000	0,0	0,0	0,00064	0,00014	0,00016	0,00012	0,00899
AKA14-ENV-002	0,00246	0,00125	0,00000	0,0	0,0	0,00030	0,00016	0,00015	0,00025	0,00450
AKA14-ENV-026	0,00166	0,00158	0,00005	0,0	0,0	0,00017	0,00030	0,00053	0,00000	0,00869
AKA14-ENV-027	0,00167	0,00154	0,00001	0,0	0,0	0,00026	0,00025	0,00050	0,00000	0,01798
AKA14-ENV-028	0,00200	0,00136	0,00011	0,0	0,0	0,00023	0,00024	0,00043	0,00000	0,02038
CAEXD270989	0,00144	0,00146	0,00004	0,0	0,0	0,00037	0,00040	0,00031	0,00000	0,02458
AKA14-ENV-029	0,00177	0,00156	0,00008	0,0	0,0	0,00022	0,00026	0,00036	0,00000	0,01349
CAEXD272479	0,00220	0,00179	0,00001	0,0	0,0	0,00028	0,00014	0,00007	0,00000	0,00000
CAEXD272485	0,00162	0,00131	0,00000	0,0	0,0	0,00059	0,00023	0,00002	0,00004	0,08143
CAEXD272486	0,00151	0,00169	0,00008	0,0	0,0	0,00020	0,00028	0,00044	0,00000	0,00879
CAEXD272487	0,00167	0,00169	0,00000	0,0	0,0	0,00018	0,00024	0,00026	0,00027	0,02698
CAEXD272488	0,00133	0,00208	0,00000	0,0	0,0	0,00015	0,00019	0,00033	0,00007	0,02248
CAEXD272490	0,00156	0,00183	0,00002	0,0	0,0	0,00027	0,00016	0,00041	0,00000	0,00899
CAEXD272496	0,00164	0,00156	0,00009	0,0	0,0	0,00024	0,00031	0,00024	0,00000	0,05205
CAEXD272497	0,00220	0,00129	0,00010	0,0	0,0	0,00031	0,00022	0,00029	0,00000	0,02478
CAEXD271977	0,00156	0,00150	0,00000	0,0	0,0	0,00042	0,00024	0,00015	0,00012	0,05655
CAEXD271979	0,00159	0,00178	0,00004	0,0	0,0	0,00016	0,00028	0,00041	0,00000	0,01099
CAEXD271981	0,00304	0,00075	0,00000	0,0	0,0	0,00053	0,00019	0,00013	0,00003	0,02258
AKA14-ENV-046	0,00131	0,00212	0,00000	0,0	0,0	0,00019	0,00023	0,00020	0,00002	0,02258
CAEXD272498	0,00117	0,00191	0,00000	0,0	0,0	0,00019	0,00024	0,00014	0,00054	0,02248
AKA14-ENV-047	0,00159	0,00154	0,00000	0,0	0,0	0,00027	0,00024	0,00035	0,00020	0,03167
AKA14-ENV-048	0,00126	0,00199	0,00000	0,0	0,0	0,00016	0,00025	0,00029	0,00016	0,02488
CAEXD272976	0,00195	0,00182	0,00002	0,0	0,0	0,00017	0,00019	0,00030	0,00000	0,00669
CAEXD272981	0,00126	0,00165	0,00015	0,0	0,0	0,00040	0,00030	0,00024	0,00000	0,00210
CAEXD271990	0,00126	0,00186	0,00000	0,0	0,0	0,00024	0,00035	0,00023	0,00007	0,02917
CAEXD272983	0,00145	0,00174	0,00002	0,0	0,0	0,00017	0,00031	0,00051	0,00000	0,00629
CAEXD272984	0,00217	0,00089	0,00000	0,0	0,0	0,00044	0,00030	0,00032	0,00021	0,03607
AKA14-ENV-051	0,00150	0,00178	0,00001	0,0	0,0	0,00031	0,00020	0,00029	0,00000	0,02038
AKA14-ENV-052	0,00166	0,00152	0,00000	0,0	0,0	0,00022	0,00022	0,00063	0,00002	0,01788
AKA14-ENV-053	0,00140	0,00181	0,00000	0,0	0,0	0,00020	0,00023	0,00040	0,00009	0,02488
CAEXD273479	0,00122	0,00190	0,00000	0,0	0,0	0,00022	0,00027	0,00029	0,00013	0,02927
AKA14-ENV-054	0,00141	0,00183	0,00000	0,0	0,0	0,00026	0,00024	0,00015	0,00019	0,04076

Tableau E.9 (suite) : Andésites alcalines (unité 5B)

No. Échant. Ri Mi	Quartz 0,004 60,08	Albite 0,01 262,22	Orthose 0,01 278,33	Trémolite 0,02 812,37	Actinote 0,02 970,80	Séricite 0,01 400,30	Chlorite 0,02 595,22 (*)	Épidote 0,02 519,30	Paragonit. 0,02 382,20	Calcite 1,00 100,09
	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi	(Ci*Ri)/Mi
CAEXD273481	0,00144	0,00154	0,00016	0,0	0,0	0,00021	0,00028	0,00050	0,00000	0,01099
CAEXD272997	0,00152	0,00175	0,00008	0,0	0,0	0,00018	0,00033	0,00034	0,00000	0,01339
CAEXD272998	0,00197	0,00117	0,00000	0,0	0,0	0,00036	0,00027	0,00013	0,00020	0,08352
CAEXD272999	0,00128	0,00200	0,00000	0,0	0,0	0,00025	0,00019	0,00026	0,00012	0,02927
CAEXD273000	0,00148	0,00178	0,00000	0,0	0,0	0,00024	0,00026	0,00025	0,00015	0,02698
CAEXD273727	0,00111	0,00208	0,00015	0,0	0,0	0,00002	0,00029	0,00050	0,00000	0,00869
CAEXD273728	0,00228	0,00133	0,00000	0,0	0,0	0,00035	0,00023	0,00017	0,00011	0,02038
CAEXD273729	0,00198	0,00067	0,00000	0,0	0,0	0,00070	0,00048	0,00015	0,00018	0,00659
CAEXD273451	0,00113	0,00185	0,00000	0,0	0,0	0,00018	0,00033	0,00020	0,00031	0,04506
CAEXD273452	0,00142	0,00165	0,00000	0,0	0,0	0,00031	0,00025	0,00024	0,00031	0,02228
CAEXD273453	0,00125	0,00204	0,00000	0,0	0,0	0,00025	0,00025	0,00025	0,00001	0,02248
CAEXD273454	0,00074	0,00199	0,00016	0,0	0,0	0,00018	0,00040	0,00038	0,00000	0,01099
CAEXD273456	0,00155	0,00156	0,00041	0,0	0,0	0,00018	0,00046	0,00003	0,00000	0,00000
CAEXD273993	0,00126	0,00202	0,00000	0,0	0,0	0,00027	0,00022	0,00018	0,00010	0,02927
CAEXD273994	0,00152	0,00151	0,00008	0,0	0,0	0,00028	0,00031	0,00044	0,00000	0,02008
CAEXD273743	0,00170	0,00160	0,00000	0,0	0,0	0,00017	0,00030	0,00010	0,00045	0,04056
CAEXD273744	0,00174	0,00177	0,00000	0,0	0,0	0,00014	0,00017	0,00036	0,00015	0,01808
CAEXD273746	0,00232	0,00180	0,00000	0,0	0,0	0,00014	0,00017	0,00014	0,00002	0,01339
CAEXD275986	0,00249	0,00089	0,00074	0,0	0,0	0,00011	0,00028	0,00008	0,00000	0,01109
AKA14-ENV-065	0,00182	0,00183	0,00000	0,0	0,0	0,00030	0,00020	0,00012	0,00000	0,01808
CAEXD273491	0,00180	0,00166	0,00006	0,0	0,0	0,00036	0,00021	0,00012	0,00000	0,02258
CAEXD273498	0,00108	0,00170	0,00000	0,0	0,0	0,00040	0,00031	0,00007	0,00020	0,06554
CAEXD273976	0,00180	0,00118	0,00000	0,0	0,0	0,00046	0,00029	0,00032	0,00006	0,03837
CAEXD273977	0,00245	0,00073	0,00000	0,0	0,0	0,00043	0,00046	0,00034	0,00008	0,00200
AKA14-ENV-072	0,00155	0,00156	0,00002	0,0	0,0	0,00027	0,00030	0,00048	0,00000	0,01109
AKA14-ENV-073	0,00173	0,00161	0,00005	0,0	0,0	0,00011	0,00029	0,00058	0,00000	0,00669
AKA14-ENV-074	0,00130	0,00184	0,00000	0,0	0,0	0,00025	0,00030	0,00033	0,00004	0,02228
AKA14-ENV-075	0,00181	0,00153	0,00005	0,0	0,0	0,00032	0,00020	0,00028	0,00000	0,00899
AKA14-ENV-076	0,00164	0,00157	0,00000	0,0	0,0	0,00023	0,00023	0,00028	0,00027	0,03177
AKA14-ENV-077	0,00126	0,00173	0,00000	0,0	0,0	0,00031	0,00033	0,00015	0,00016	0,03837
AKA14-ENV-080	0,00147	0,00163	0,00012	0,0	0,0	0,00012	0,00029	0,00062	0,00000	0,00430

Tableau E.9 (suite) : Andésites alcalines (unité 5B)

No. Échant.	Total $\sum(C_i \cdot R_i) / M_i$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
AKA14-ENV-001	0,01318	13,2	32,7	20
AKA14-ENV-002	0,00907	9,1	4,4	2,5
AKA14-ENV-026	0,01298	13,0	13,5	10
AKA14-ENV-027	0,02220	22,2	15,8	15
AKA14-ENV-028	0,02475	24,8	24,8	20
CAEXD270989	0,02859	28,6		
AKA14-ENV-029	0,01774	17,8	27,7	19
CAEXD272479	0,00449	4,5	17,4	
CAEXD272485	0,08523	85,3	70,8	
CAEXD272486	0,01300	13,0	9,7	
CAEXD272487	0,03129	31,3		
CAEXD272488	0,02665	26,7		
CAEXD272490	0,01324	13,2		
CAEXD272496	0,05613	56,2		
CAEXD272497	0,02919	29,2		
CAEXD271977	0,06054	60,6		
CAEXD271979	0,01525	15,3		
CAEXD271981	0,02725	27,3		
AKA14-ENV-046	0,02666	26,7	32,1	22
CAEXD272498	0,02667	26,7	37,5	
AKA14-ENV-047	0,03585	35,9	39,7	25
AKA14-ENV-048	0,02899	29,0	36,2	17
CAEXD272976	0,01115	11,2	7,5	
CAEXD272981	0,00610	6,1	8,6	
CAEXD271990	0,03319	33,2		
CAEXD272983	0,01051	10,5		
CAEXD272984	0,04040	40,4		
AKA14-ENV-051	0,02447	24,5	33,4	55
AKA14-ENV-052	0,02216	22,2	21,7	12
AKA14-ENV-053	0,02901	29,0	32,4	22
CAEXD273479	0,03332	33,3	35,6	
AKA14-ENV-054	0,04484	44,9	49,1	35
CAEXD273481	0,01512	15,1	30,4	

Tableau E.9 (suite) : Andésites alcalines (unité 5B)

No. Échant.	Total $\Sigma(Ci* Ri)/Mi$	PN _{LS}	PN _{Carb}	PN _{Acisol}
CAEXD272997	0,01759	17,6		
CAEXD272998	0,08762	87,7		
CAEXD272999	0,03336	33,4		
CAEXD273000	0,03114	31,2		
CAEXD273727	0,01283	12,8		
CAEXD273728	0,02486	24,9		
CAEXD273729	0,01075	10,8		
CAEXD273451	0,04907	49,1		
CAEXD273452	0,02646	26,5		
CAEXD273453	0,02653	26,6		
CAEXD273454	0,01484	14,9		
CAEXD273456	0,00419	4,2		
CAEXD273993	0,03332	33,4		
CAEXD273994	0,02421	24,2		
CAEXD273743	0,04487	44,9	58,6	
CAEXD273744	0,02243	22,5	36,6	
CAEXD273746	0,01798	18,0		
CAEXD275986	0,01569	15,7	16,6	
AKA14-ENV-065	0,02236	22,4	22,2	15
CAEXD273491	0,02679	26,8		
CAEXD273498	0,06931	69,4	76,0	
CAEXD273976	0,04248	42,5		
CAEXD273977	0,00648	6,5		
AKA14-ENV-072	0,01527	15,3	11,1	12
AKA14-ENV-073	0,01106	11,1	9,1	10
AKA14-ENV-074	0,02634	26,4	23,9	12
AKA14-ENV-075	0,01319	13,2	28,8	15
AKA14-ENV-076	0,03600	36,0	37,0	28
AKA14-ENV-077	0,04231	42,3	43,0	27
AKA14-ENV-080	0,00854	8,5	5,2	4,9

ANNEXE F – ANALYSES DES ESSAIS CINÉTIQUE EN MINI CELLULES D'ALTÉRATION

Tableau F. 1 : AKA14 ENV 021 (unité 1)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	40,68	46,33	41,65	44,17	45,47	46,19	45,48	43,63	45,05	43,89
pH		7,99	7,92	7,88	7,83	7,65	7,69	7,70	7,55	7,49	7,58
Eh	mV	660,6	409,9	582	550	567	595	609	605	608	609
Conductivité	μS/cm	150,2	104,2	81,5	88,1	70,8	65,0	71,1	74,8	70,1	76,2
Acidité	mg CaCO ₃ /L			0		1,6		5,0		1,8	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			47,5		37,1		50,2		58,7	
Al	mg/L	0,165	0,188	0,241	0,254	0,361	0,366	0,349	0,358	0,357	0,266
As	mg/L	<0,06	0,066	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,914	1,07	0,815	0,894	0,421	0,337	0,216	0,011	0,000	0,219
Ba	mg/L	0,019	0,009	0,006	0,006	0,007	0,006	0,007	0,010	0,007	0,008
Ca	mg/L	5,50	6,54	7,19	8,80	7,91	8,11	9,85	9,90	9,83	11,1
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	<0,003	0,003	0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,014	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	26,0	15,5	11,4	9,44	8,77	7,05	7,45	7,30	6,21	5,06
Li	mg/L	0,005	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,003	0,001	0,000	0,002
Mg	mg/L	1,52	3,05	2,88	2,89	2,02	1,74	1,84	1,80	1,35	1,29
Mn	mg/L	<0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	<0,002	0,003	0,002	0,002	0,003
Mo	mg/L	0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	7,89	2,70	1,37	1,01	0,627	0,469	0,433	0,373	0,261	0,197
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	5,71	3,98	2,35	1,94	1,56	1,09	1,01	0,832	0,627	0,618
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	4,66	5,75	11,9	6,00	11,3	6,82	10,6	9,69	12,4	6,67
Sr	mg/L	0,046	0,072	0,069	0,076	0,057	0,039	0,043	0,041	0,033	0,034
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,010	0,007	0,005	<0,005	0,005	0,005	0,006	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.1 (suite) : AKA14 ENV 021 (unité 1)

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml	46,87	45,19	43,90	45,82	44,23	46,00	44,40		41,52	45,78
pH		7,72	7,72	7,79	7,88	7,89	7,98	7,82	7,82	7,89	7,95
Eh	mV	612	614	600	571	712	610	602	591	601	611
Conductivité	µS/cm	71,7	71,6	74,5	87,6	61,0	80,3	76,6	71,3	75,3	75,7
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,5		2,2		1,4		1,7		3,0	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	33,8		36,0		35,7		38,4		38,8	
Al	mg/L	0,247	0,204	0,247	0,159	0,147	0,171	0,106	0,109	0,095	0,062
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,166	N.D.	N.D.	0,000	0,000	n/d	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	mg/L	0,008	0,009	0,009	0,013	0,010	0,012	0,014	0,012	0,014	0,016
Ca	mg/L	10,5	11,8	11,7	12,8	10,7	12,3	13,2	12,3	13,4	13,5
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	0,005	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	4,37	4,29	4,63	4,43	3,20	4,69	3,36	3,22	3,10	2,98
Li	mg/L	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,873	0,798	0,888	0,748	0,457	0,726	0,564	0,524	0,496	0,402
Mn	mg/L	0,006	0,013	0,003	0,017	0,028	0,015	0,041	0,035	0,043	0,058
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,010	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,203	0,174	0,161	0,163	0,122	0,154	0,113	0,131	0,126	0,098
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	0,464	0,578	0,539	0,817	0,687	0,913	0,700	0,730	0,646	0,643
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	7,46	5,90	7,89	6,27	4,97	3,21	4,50	3,62	3,56	2,04
Sr	mg/L	0,025	0,027	0,029	0,016	0,009	0,016	0,013	0,012	0,012	0,009
Te	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,010	0,003	0,000	0,001	0,003	0,005	0,003
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,007	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	0,006	<0,005

Tableau F.1 (suite) : AKA14 ENV 021 (unité 1)

Jours		71	74	77	80	84	87	90	93	97	100
Vol. Lixiviat	ml	45,38	43,31	47,16	44,14	45,26	45,55	32,03	39,65	40,79	41,92
pH		7,71	7,67	7,87	7,88	7,76	7,77	7,96	8,00	7,68	7,97
Eh	mV	682	630	633	604	605	626	712	613	605	648
Conductivité	µS/cm	68,2	63,1	62,2	64,80	61,5	71,0	109,1	137,3	87,7	105,9
Acidité	mg CaCO ₃ /L	4,56		4,00				5,44		4,00	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	35,0		31,44		30,96		40,64		60,60	
Al	mg/L	0,029	0,050	0,036	0,019	0,013	0,019	0,032	0,027	0,026	0,040
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,453	0,000	0,203
Ba	mg/L	0,013	0,013	0,010	0,010	0,009	0,011	0,014	0,024	0,010	0,010
Ca	mg/L	13,1	12,7	11,8	12,9	12,5	13,5	22,2	27,3	18,4	23,2
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	2,11	2,49	2,24	1,96	1,28	1,77	2,62	5,72	1,60	1,72
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000
Mg	mg/L	0,276	0,382	0,315	0,257	0,220	0,241	0,459	0,832	0,368	0,589
Mn	mg/L	0,076	0,059	0,055	0,066	0,070	0,077	0,107	0,050	0,107	0,102
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,053	0,109	0,076	0,178	0,059	0,076	0,105	0,194	0,057	0,119
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	0,567	0,679	0,564	0,648	0,561	0,607	0,935	1,61	0,810	1,28
Sb	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	1,81	2,33	2,21	1,71	1,44	1,45	2,94	6,38	2,23	2,88
Sr	mg/L	0,006	0,008	0,007	0,007	0,006	0,006	0,013	0,020	0,009	0,014
Te	mg/L	0,005	0,007	0,005	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	0,005	<0,005	0,005	<0,005	0,005	0,008	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.1 (suite) : AKA14 ENV 021 (unité 1)

Jours		104	107	11	Total Lix.
Vol. Lixiviat	ml	38,24	38,74	37,42	
pH					
Eh	mV	7,83	7,99	7,83	
Conductivité	μS/cm	614	581		
Acidité	mg CaCO ₃ /L	115,8	103,2	68,1	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	3,60		2,88	
Al	mg/L	0,036	0,021	0,023	4,823
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,066
B	mg/L	0,220	0,183	0,109	6,231
Ba	mg/L	0,011	0,010	0,007	0,354
Ca	mg/L	25,0	22,1	14,1	435,730
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	0,005	<0,004	<0,004	0,018
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,016
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,014
K	mg/L	1,71	1,71	0,910	170,290
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,035
Mg	mg/L	0,543	0,435	0,296	32,069
Mn	mg/L	0,124	0,120	0,081	1,371
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,019
Na	mg/L	0,108	0,087	0,060	18,056
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	1,29	1,08	0,809	37,874
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,002
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	3,46	2,56	1,59	168,200
Sr	mg/L	0,013	0,010	0,007	0,804
Te	mg/L	0,000	0,000	0,002	0,051
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,007	0,086

Tableau F.2 (suite) : AKA14 ENV 070

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml	44,22	42,87	36,29	47,64	38,26	41,86	39,29		37,03	30,09
pH		7,63	7,64	7,73	7,83	7,96	7,90	7,65	7,81	7,93	7,93
Eh	mV	606	620	604	599	676	612	604	600	625	608
Conductivité	µS/cm	84,1	68,3	69,3	79,4	62,1	73,7	74,5	64,2	83,6	71,9
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,4		4,6		0,9		2,3		2,6	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	31,0		35,8		36,4		37,7		38,4	
Al	mg/L	0,168	0,163	0,150	0,104	0,250	0,125	0,091	0,102	0,079	0,082
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,145	N.D.	N.D.	0,000	0,000	n/d	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	mg/L	0,005	0,006	0,006	0,009	0,007	0,008	0,008	0,008	0,009	0,008
Ca	mg/L	11,1	12,2	13,0	14,2	11,6	12,6	14,1	12,8	16,4	13,6
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	0,005	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,006	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	1,97	1,87	2,07	2,30	1,86	2,01	0,741	0,610	0,835	0,972
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	1,09	0,932	0,843	0,888	0,664	0,570	0,498	0,428	0,549	0,473
Mn	mg/L	<0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,008	0,007	0,017	0,022
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,202	0,162	0,198	0,168	0,170	0,120	0,108	0,103	0,148	0,116
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	0,368	0,394	0,421	0,504	0,476	0,523	0,561	0,471	0,596	0,535
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	8,98	6,34	8,44	7,41	7,02	4,02	4,51	3,71	4,48	2,33
Sr	mg/L	0,025	0,026	0,024	0,016	0,012	0,012	0,011	0,009	0,010	0,009
Te	mg/L	0,001	0,001	0,002	0,006	0,005	0,000	0,006	0,006	0,008	0,008
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,006	<0,005	0,006	0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.2 (suite) : AKA14 ENV 070

Jours		71	74	77	80	84	87	90	93	97	100
Vol. Lixiviat	ml	42,77	46,16	47,04	45,53	38,23	1,72	34,34	30,51	39,68	46,04
pH		7,83	7,62	7,77	7,78	7,63		7,93	7,96	7,53	7,71
Eh	mV	653	638	598	598	594		686	612	587	646
Conductivité	µS/cm	76,4	46,3	49,7	48,70	44,1		125,1	120,5	43,4	39,3
Acidité	mg CaCO ₃ /L	4,00		2,64		2,96		n.d.		2,88	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	39,2		27,3		24,6		47,50		37,20	
Al	mg/L	0,079	0,042	0,032	0,026	0,017		0,067	0,063	0,028	0,016
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06		<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,415	0,000	0,112
Ba	mg/L	0,008	0,006	0,005	0,005	0,003		0,015	0,013	0,003	0,002
Ca	mg/L	15,2	10,2	10,4	10,5	9,25		22,2	23,9	9,15	8,57
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003		<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,004		<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003		<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	0,004	<0,003	<0,003	<0,003		0,104	0,006	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006		0,013	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	0,863	0,752	0,441	0,388	0,241		4,23	1,85	0,166	0,180
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003		0,010	0,002	0,001	0,000
Mg	mg/L	0,414	0,274	0,247	0,192	0,162		0,922	0,570	0,166	0,203
Mn	mg/L	0,025	0,025	0,032	0,038	0,043		0,060	0,085	0,039	0,042
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009		<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,100	0,151	0,067	0,079	0,071		2,97	0,227	0,048	0,060
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004		0,011	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02		<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	0,554	0,451	0,412	0,462	0,410		2,06	1,000	0,428	0,491
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,001	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1		<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	4,09	2,14	2,38	1,88	1,60		9,18	4,69	1,41	1,23
Sr	mg/L	0,008	0,004	0,004	0,004	0,003		0,019	0,011	0,003	0,003
Te	mg/L	0,009	0,007	0,006	0,002	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005		0,065	<0,005	<0,005	0,005

Tableau F.2 (suite) : AKA14 ENV 070

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	45,48	38,72	48,10	
pH		7,55	7,57	7,74	
Eh	mV	565	549		
Conductivité	μS/cm	41,6	38,5	46,2	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	4,56		1,92	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	20,16		21,68	
Al	mg/L	<0,01	<0,01	0,018	3,351
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,125	0,137	0,408	4,941
Ba	mg/L	0,002	0,002	0,003	0,200
Ca	mg/L	8,76	8,05	9,47	372,310
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,019
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,149
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,030
K	mg/L	0,173	0,157	0,206	62,545
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,027
Mg	mg/L	0,183	0,210	0,246	39,754
Mn	mg/L	0,045	0,040	0,042	0,592
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,000
Na	mg/L	0,075	0,056	0,090	21,126
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,011
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,448	0,587	0,535	21,609
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,005
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	1,30	1,17	3,56	185,360
Sr	mg/L	0,003	0,003	0,005	0,739
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,068
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,008	<0,005	0,005	0,124

Tableau F. 3 : AKA14 ENV 064 (unité 4A)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	39,62	39,46	40,21	47,75	42,20	42,73	40,56	40,64	42,74	39,43
pH		7,84	7,81	7,82	7,81	7,49	7,71	7,73	7,60	7,47	7,56
Eh	mV	659,4	323,1	516	587	554	551	623	605	612	610
Conductivité	µS/cm	239	119	100,6	98,2	83,9	73,4	74,0	73,2	73,1	73,3
Acidité	mg CaCO ₃ /L			0		0		2,2		2,9	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			45,8		39,0		100,5		45,4	
Al	mg/L	0,058	0,148	0,161	0,168	0,255	0,269	0,272	0,316	0,308	0,252
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,890	1,47	1,53	1,62	0,730	0,451	0,274	0,058	0,000	0,475
Ba	mg/L	0,013	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
Ca	mg/L	24,9	15,5	14,9	15,9	14,4	13,4	14,5	13,5	14,1	13,4
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,003	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,005	0,003	0,004	0,005	0,003	0,003
Fe	mg/L	<0,006	0,055	<0,006	<0,006	0,016	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	18,4	8,02	6,16	4,02	3,53	2,25	2,23	1,75	1,66	1,09
Li	mg/L	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,003	0,000	0,000	0,001
Mg	mg/L	2,12	1,62	1,59	1,69	1,39	1,20	1,18	1,02	0,940	0,884
Mn	mg/L	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,002	0,003
Mo	mg/L	0,127	0,044	0,021	0,012	<0,009	<0,009	0,013	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	9,98	3,63	1,86	1,23	0,827	0,589	0,510	0,409	0,426	0,342
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	19,8	10,7	7,18	5,25	3,93	2,65	2,49	2,01	1,66	1,70
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	6,24	5,97	14,5	9,07	20,6	10,9	22,1	17,3	26,6	13,2
Sr	mg/L	0,076	0,049	0,044	0,043	0,038	0,025	0,026	0,023	0,023	0,022
Te	mg/L	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,017	0,010	0,008	0,005	0,006	0,007	<0,005	<0,005	0,005	<0,005

Tableau F.3 (suite) : AKA14 ENV 064

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml	40,09	41,21	39,16	45,84	39,41	46,56	39,52	40,56	41,01	42,11
pH		7,77	7,77	7,73	7,74	7,81	7,98	7,70	7,84	7,90	7,95
Eh	mV	597	623	613	598	637	603	597	532	599	577
Conductivité	µS/cm	81,5	67,4	74,5	81,9	70,6	93,3	88,1	74,3	78,0	80,1
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,9		5,0		2,2		3,8		2,40	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	35,2		34,7		32,2		37,3		35,2	
Al	mg/L	0,253	0,225	0,221	0,141	0,156	0,155	0,214	0,232	0,263	0,242
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,322	N.D.	N.D.	0,000	1,15	n/d	0,000	0,541	0,000	0,592
Ba	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,003	0,011	0,001	0,001
Ca	mg/L	14,0	13,3	14,1	15,2	13,9	16,1	15,9	14,6	14,2	14,5
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	0,004	0,004	0,004
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	1,05	0,884	0,866	0,707	0,742	1,08	0,896	0,830	0,758	0,804
Li	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,773	0,690	0,743	0,792	0,717	0,883	0,885	0,851	0,833	0,834
Mn	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,007	0,006	0,007	0,007	0,006	0,006	0,006
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,279	0,273	0,302	0,239	0,261	0,412	0,342	0,286	0,244	0,257
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	1,34	1,34	2,23	3,03	3,32	3,98	3,60	2,97	3,12	3,23
Sb	mg/L	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	22,6	14,5	14,7	8,28	6,08	7,03	11,1	7,38	10,00	7,14
Sr	mg/L	0,022	0,023	0,024	0,018	0,017	0,021	0,022	0,021	0,020	0,020
Te	mg/L	0,000	0,002	0,004	0,007	0,003	0,000	0,006	0,009	0,009	0,008
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	0,006	<0,005	0,005	0,007	<0,005

Tableau F.3 (suite) : AKA14 ENV 064

Jours		104	107	111	
Vol. Lixiviat	ml	44,36	46,50	51,98	
pH		7,58	7,80	7,97	
Eh	mV	557	552		
Conductivité	μS/cm	73,9	68,4	71,6	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	3,60		1,28	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	33,68		33,44	
Al	mg/L	0,050	0,055	0,081	5,519
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,099	0,152	0,129	10,609
Ba	mg/L	<0,001	<0,001	0,001	0,068
Ca	mg/L	16,3	14,8	14,4	466,060
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,006
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,008
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	0,003	0,061
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,071
K	mg/L	0,256	0,273	0,329	61,896
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,023
Mg	mg/L	0,290	0,297	0,359	26,510
Mn	mg/L	0,028	0,022		0,247
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,227
Na	mg/L	0,081	0,100	0,095	24,305
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,986	1,10	1,40	100,123
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,011
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	5,58	4,07	5,44	329,670
Sr	mg/L	0,014	0,013	0,016	0,756
Te	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,076
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,001
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,007	0,093

Tableau F. 4 : AKA14 ENV 004 (unité 4A)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	41,24	41,08	41,25	44,81	47,79	42,62	42,91	44,55	44,28	44,06
pH		7,92	7,82	7,74	7,79	7,53	7,64	7,59	7,45	7,05	7,20
Eh	mV	666,3	393,9	416	421	604	613	613	602	594	557
Conductivité	µS/cm	290	117,6	95,3	79,5	66,3	61,2	55,6	51,8	46,0	41,3
Acidité	mg CaCO ₃ /L			4,0		2,0		7,0		2,2	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			54,9		33,9		30,9		29,9	
Al	mg/L	0,041	0,026	0,042	0,049	0,058	0,050	0,049	0,067	0,072	0,044
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,511	1,02	1,11	1,22	0,599	0,625	0,686	0,543	0,529	0,470
Ba	mg/L	0,020	0,005	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002	0,002	0,001	0,001
Ca	mg/L	45,6	21,0	18,8	15,1	13,1	12,0	11,5	10,2	9,27	7,71
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	0,006	0,004	0,004	<0,004	<0,004	0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,020	0,007	0,006	0,004	0,006	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,016	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	9,41	3,47	2,56	1,71	1,39	1,04	0,768	0,767	0,729	0,465
Li	mg/L	0,005	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000
Mg	mg/L	4,43	1,72	1,49	1,11	0,882	0,837	0,746	0,622	0,611	0,460
Mn	mg/L	0,006	0,002	0,002	0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mo	mg/L	0,027	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	5,28	1,57	0,904	0,577	0,385	0,345	0,347	0,270	0,247	0,178
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	23,3	6,87	3,75	2,72	2,06	1,71	1,75	1,39	1,39	1,03
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	21,3	13,5	27,5	13,8	18,3	12,3	14,8	11,5	16,2	9,13
Sr	mg/L	0,191	0,093	0,079	0,060	0,052	0,035	0,033	0,029	0,026	0,023
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,026	0,011	0,007	0,006	0,006	0,006	<0,005	<0,005	0,011	<0,005

Tableau F.4 (suite) : AKA14 ENV 004

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	44,97	43,44	52,35	
pH		7,61	7,04	7,36	
Eh	mV	570	558		
Conductivité	μS/cm	7,2	8,1	10,0	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	1,76		2,16	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	3,84		3,52	
Al	mg/L	0,011	0,015	0,015	0,974
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,183	0,263	0,194	8,590
Ba	mg/L	<0,001	<0,001	0,002	0,071
Ca	mg/L	1,18	1,38	1,61	239,720
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	0,007	0,040
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	0,003	0,003	0,094
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,016
K	mg/L	0,121	0,137	0,149	27,868
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,021
Mg	mg/L	0,112	0,133	0,165	18,072
Mn	mg/L	<0,002	<0,002	0,002	0,022
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,036
Na	mg/L	0,067	0,091	0,091	12,645
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,585	0,722	1,04	62,876
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,012
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	4,75	3,96	5,32	347,590
Sr	mg/L	0,003	0,003	0,005	0,816
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,092
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,007	0,080

Tableau F. 5 : AKA14 ENV 085 (unité 4A)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	43,45	44,26	42,94	42,44	42,13	42,43	42,90	40,97	43,12	41,75
pH		7,81	7,76	7,83	7,74	7,64	7,77	7,54	7,70	7,56	7,50
Eh	mV	665,5	398,7	542	251	574	583	607	596	611	600
Conductivité	µS/cm	252	121,1	78,1	76,9	63,4	57,8	54,8	57,1	55,5	55,6
Acidité	mg CaCO ₃ /L			1,4		2,4		3,8		1,8	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			38,2		31,7		49,6		42,3	
Al	mg/L	0,093	0,155	0,204	0,221	0,322	0,307	0,326	0,337	0,378	0,301
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,591	1,26	0,801	1,04	0,731	0,555	0,349	0,286	0,050	0,497
Ba	mg/L	0,050	0,021	0,016	0,013	0,013	0,012	0,011	0,010	0,010	0,011
Ca	mg/L	18,6	12,9	9,94	9,76	8,63	8,52	8,7	8,3	8,26	8,27
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	0,004	<0,004	<0,004	0,006	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,005
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,022	0,007	0,005	0,003	0,007	0,004	0,004	0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	13,8	6,77	5,34	4,05	4,27	3,31	3,40	2,82	3,01	2,39
Li	mg/L	0,004	0,003	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	2,49	2,41	1,86	1,78	1,48	1,37	1,34	1,2	1,13	1,11
Mn	mg/L	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,002	0,002	<0,002	0,003
Mo	mg/L	0,010	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	19,2	6,73	3,30	2,35	1,88	1,29	1,12	0,939	0,852	0,773
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	19,6	9,88	3,57	2,48	1,99	1,19	1,09	0,981	0,837	0,790
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	4,87	4,50	13,8	7,31	11,7	5,70	9,07	5,10	11,9	4,93
Sr	mg/L	0,157	0,123	0,097	0,094	0,085	0,062	0,061	0,055	0,054	0,054
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,019	0,010	0,005	<0,005	0,006	0,005	0,007	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.5 (suite) : AKA14 ENV 085

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml	43,39	38,32	42,68	43,63	40,08	42,54	43,19	44,20	44,03	44,17
pH		7,62	7,64	7,67	8,00	7,73	7,80	7,69	7,70	7,79	7,83
Eh	mV	578	611	517	622	681	585	574	586	599	614
Conductivité	µS/cm	53,1	49,4	53,1	52,6	52,1	56,3	51,6	51,7	44,2	45,1
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,4		4,4		2,4		3,1		2,8	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	42,3		26,3		n.m.		27,5		28,8	
Al	mg/L	0,291	0,350	0,266	0,165	0,175	0,191	0,254	0,283	0,177	0,248
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,295	N.D.	N.D.	0,000	0,000	n/d	0,000	0,263	0,000	0,000
Ba	mg/L	0,010	0,009	0,010	0,012	0,011	0,012	0,012	0,012	0,011	0,010
Ca	mg/L	8,00	7,86	8,18	8,18	8,19	8,22	8,19	8,02	7,21	7,1
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	2,42	2,15	2,24	1,98	2,01	2,41	2,00	2,09	2,02	1,96
Li	mg/L	0,002	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,979	0,926	0,961	0,92	0,958	0,919	0,949	0,974	0,81	0,794
Mn	mg/L	0,003	0,003	0,004	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,005	0,004
Mo	mg/L	<0,009	0,011	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,009
Na	mg/L	0,637	0,510	0,610	0,527	0,652	1,26	0,433	0,585	0,427	0,434
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	0,631	0,530	0,708	0,717	0,976	1,07	0,677	0,800	0,535	0,602
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	12,6	9,19	6,31	6,80	5,70	4,39	10,3	8,40	8,00	5,08
Sr	mg/L	0,051	0,054	0,054	0,037	0,036	0,038	0,041	0,040	0,036	0,034
Te	mg/L	0,000	0,003	0,001	0,006	0,004	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	0,009	<0,005	<0,005

Tableau F.5 (suite) : AKA14 ENV 085

Jours		104	107	11	
Vol. Lixiviat	ml	45,63	45,28	48,10	
pH		7,32	7,43	7,63	
Eh	mV	604	541	469	
Conductivité	μS/cm	32,5	33,3	25,3	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,24		2,72	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	21,70		15,44	
Al	mg/L	0,123	0,096	0,097	6,723
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,023	0,009	0,000	6,918
Ba	mg/L	0,006	0,007	0,007	0,379
Ca	mg/L	5,63	6,22	4,64	0,000
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,019
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,055
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,000
K	mg/L	0,924	0,861	0,615	88,312
Li	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,031
Mg	mg/L	0,456	0,464	0,388	0,000
Mn	mg/L	0,005	0,006	0,005	0,142
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,030
Na	mg/L	0,200	0,183	0,157	48,301
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,479	0,501	0,446	57,124
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,005
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	4,18	3,05	3,81	217,830
Sr	mg/L	0,020	0,021	0,018	1,614
Te	mg/L	0,000	0,001	0,000	0,031
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,071

Tableau F. 6 : AKA14 ENV 033 (unité 4A)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	41,44	41,43	41,92	46,73	41,77	41,49	41,15	42,89	42,46	43,80
pH		7,77	7,73	7,69	7,65	7,36	7,48	7,46	7,25	7,29	7,21
Eh	mV	670,8	352,9	573	573	614	646	626	607	614	567
Conductivité	μS/cm	275	117,2	76,2	66,4	49,4	36,1	35,6	34,1	27,2	27,5
Acidité	mg CaCO ₃ /L			3,2		0,0		2,1		2,5	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			35,3		26,3		27,5		33,2	
Al	mg/L	0,047	0,126	0,150	0,161	0,212	0,186	0,189	0,165	0,192	0,124
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,867	1,42	1,18	1,79	0,729	0,526	0,397	1,02	0,219	0,643
Ba	mg/L	0,014	0,004	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,007	0,004
Ca	mg/L	34,5	16,4	12,2	10,9	8,07	6,29	6,05	5,58	4,82	4,41
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,007	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,005
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,007	<0,003	<0,003	0,003	0,004	<0,003	0,003	<0,003	0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,014	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	9,11	3,95	2,84	1,94	1,86	1,21	1,06	1,08	0,893	0,734
Li	mg/L	0,003	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,001
Mg	mg/L	2,05	1,35	1,05	0,983	0,733	0,611	0,631	0,611	0,515	0,501
Mn	mg/L	0,006	0,002	<0,002	0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mo	mg/L	0,019	<0,009	<0,009	0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	11,4	4,03	2,30	1,64	1,28	0,865	0,859	0,739	0,645	0,507
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	28,6	11,0	4,56	2,99	1,69	1,05	1,12	1,01	0,811	0,756
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	6,70	6,39	15,9	9,41	19,8	8,82	14,6	9,05	15,9	7,23
Sr	mg/L	0,089	0,056	0,041	0,036	0,028	0,017	0,015	0,015	0,013	0,013
Te	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,020	0,008	0,006	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	0,005	0,006	<0,005

Tableau F.6 (suite) : AKA14 ENV 033

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	43,73	47,22	47,80	
pH		7,72	6,98	7,67	
Eh	mV	569	548	502	
Conductivité	μS/cm	8,4	4,9	7,0	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,00		1,68	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	7,20		5,36	
Al	mg/L	0,015	<0,01	0,014	2,555
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,013	0,000	0,014	12,717
Ba	mg/L	<0,001	<0,001	0,001	0,085
Ca	mg/L	1,35	0,845	1,07	165,641
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,021
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,020
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,014
K	mg/L	0,281	0,170	0,213	34,240
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,019
Mg	mg/L	0,243	0,146	0,185	17,086
Mn	mg/L	<0,002	<0,002	0,002	0,035
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,049
Na	mg/L	0,163	0,099	0,137	31,423
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,289	0,199	0,292	68,408
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,010
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	7,40	3,83	7,90	322,720
Sr	mg/L	0,004	0,002	0,004	0,484
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,047
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,050

Tableau F. 7 : AKA14 ENV 067 (unité 4B)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	41,13	40,13	41,20	44,84	34,54	42,77	40,74	46,03	41,71	40,86
pH		7,78	7,68	7,68	7,63	7,24	7,34	7,35	7,18	7,06	7,08
Eh	mV	675,2	399,2	476	555	599	550	617	613	615	605
Conductivité	µS/cm	177,9	83,7	64,6	49,8	39,8	38,3	33,2	30,3	29,3	26,6
Acidité	mg CaCO ₃ /L			3,4		0		3,2		2,3	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			39,8		21,7		19,7		17,4	
Al	mg/L	0,056	0,067	0,065	0,063	0,081	0,054	0,069	0,069	0,067	0,038
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,937	1,37	1,39	0,889	0,561	1,49	0,813	0,411	0,185	0,816
Ba	mg/L	0,013	0,004	0,003	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001
Ca	mg/L	27,4	13,2	11,8	8,93	6,90	6,73	6,21	5,10	5,12	4,34
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,006
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,028	0,014	0,013	0,009	0,010	0,007	0,004	0,005	0,004	0,004
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,015	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	7,24	3,75	2,83	2,01	1,71	1,25	1,23	1,09	1,10	0,782
Li	mg/L	0,004	0,002	0,000	0,000	0,001	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001
Mg	mg/L	1,58	0,752	0,695	0,523	0,413	0,433	0,416	0,356	0,353	0,317
Mn	mg/L	0,009	0,003	0,004	0,003	0,003	0,004	0,004	0,003	0,003	0,004
Mo	mg/L	0,087	0,022	0,015	<0,009	<0,009	0,015	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	7,32	2,51	1,69	0,915	0,693	0,655	0,554	0,437	0,402	0,306
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,005	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	10,9	3,71	2,16	1,32	1,14	1,47	1,43	1,02	0,988	1,02
Sb	mg/L	0,003	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Se	mg/L	0,185	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	9,24	8,86	21,3	9,91	22,7	12,8	16,9	12,7	24,9	10,5
Sr	mg/L	0,048	0,028	0,025	0,018	0,015	0,012	0,012	0,009	0,009	0,008
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,023	0,009	0,010	<0,005	0,006	0,005	0,006	0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.7 (suite) : AKA14 ENV 067

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml	42,48	42,54	42,46	43,44	39,86	42,98	41,39	41,14	39,9	44,44
pH		6,92	7,13	7,23	7,51	6,98	7,29	7,09	7,10	7,29	7,23
Eh	mV	606	625	607	618	748	606	598	607	630	624
Conductivité	µS/cm	26,3	18,5	23,7	18,5	22,2	27,2	22,3	22,3	18,0	23,1
Acidité	mg CaCO ₃ /L	3,0		3,4		2,9		4,3		2,7	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	11,0		11,6		9,1		9,0		9,4	
Al	mg/L	0,034	0,026	0,022	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,010	0,013	<0,01
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,576	N.D.	N.D.	0,000	1,43	n/d	0,000	0,616	0,000	0,000
Ba	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	mg/L	4,24	3,25	3,85	3,40	3,63	3,88	3,37	3,29	2,92	3,32
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004	0,003	0,008	0,005	0,005	0,006
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	0,807	0,677	0,716	0,528	0,534	0,666	0,612	0,586	0,550	0,583
Li	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,325	0,238	0,294	0,280	0,278	0,311	0,319	0,302	0,285	0,315
Mn	mg/L	0,004	0,004	0,005	0,006	0,005	0,008	0,008	0,007	0,009	0,010
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,314	0,267	0,306	0,244	0,272	0,332	0,302	0,327	0,245	0,319
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	0,915	0,760	1,23	1,25	1,74	1,97	1,80	1,82	1,66	2,18
Sb	mg/L	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	22,5	13,8	13,0	9,16	8,11	7,81	13,8	10,1	11,6	11,0
Sr	mg/L	0,008	0,008	0,008	0,005	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006
Te	mg/L	0,000	0,001	0,003	0,006	0,003	0,000	0,007	0,008	0,008	0,006
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	0,011	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.7 (suite) : AKA14 ENV 067

Jours		71	74	77	80	84	87	90	93	97	100
Vol. Lixiviat	ml	42,65	43,17	42,85	44,59	42,83	44,48	45,11	43,81	43,80	44,87
pH		7,45	7,03	7,39	7,41	7,39	7,18	7,25	7,30	7,39	7,46
Eh	mV	684	611	560	620	624	621	642	629	569	648
Conductivité	µS/cm	19,0	19,9	21,9	22,0	17,1	15,8	16,2	13,1	13,9	14,5
Acidité	mg CaCO ₃ /L	4,56		5,04		2,80		2,24		2,96	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	6,3		4,64		4,40		4,16		4,16	
Al	mg/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,010	<0,01	<0,01	0,011	<0,01
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,170
Ba	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	<0,001
Ca	mg/L	2,97	3,07	3,12	3,53	2,77	2,55	2,58	2,08	2,27	2,38
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,005	<0,004	<0,004	<0,004	0,006	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,004	0,006	0,005	0,007	0,009	0,012	0,013	0,012	0,014	0,014
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	0,552	0,550	0,537	0,493	0,417	0,441	0,407	0,399	0,415	0,422
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,291	0,302	0,307	0,300	0,261	0,285	0,269	0,202	0,242	0,243
Mn	mg/L	0,010	0,008	0,010	0,010	0,012	0,012	0,011	0,010	0,012	0,013
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,265	0,334	0,279	0,290	0,235	0,214	0,198	0,178	0,188	0,212
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	1,86	2,08	2,34	2,33	1,84	1,59	1,69	1,04	1,47	1,79
Sb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	17,3	12,6	8,92	10,8	13,6	8,90	18,6	13,8	10,6	13,9
Sr	mg/L	0,006	0,006	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	0,004	0,005	0,005
Te	mg/L	0,010	0,008	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Ti	mg/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	0,007	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.7 (suite) : AKA14 ENV 067

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixivié	ml	46,83	43,51	48,49	
pH		7,71	7,24	7,37	
Eh	mV	563	562		
Conductivité	μS/cm	7,9	13,4	13,1	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	1,76		2,24	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	4,24		3,44	
Al	mg/L	0,012	<0,01	<0,01	0,767
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,000	0,072	0,111	11,837
Ba	mg/L	<0,001	<0,001	0,001	0,052
Ca	mg/L	1,41	2,27	1,99	163,870
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	0,004	0,021
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	0,011	0,022	0,024	0,299
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,015
K	mg/L	0,275	0,346	0,331	34,836
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,025
Mg	mg/L	0,152	0,222	0,222	12,083
Mn	mg/L	0,008	0,012	0,012	0,246
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,148
Na	mg/L	0,114	0,191	0,169	21,277
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,005
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,597	1,50	1,60	62,210
Sb	mg/L	0,001	0,002	0,002	0,031
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,185
Si	mg/L	12,2	9,31	10,1	431,320
Sr	mg/L	0,002	0,004	0,005	0,316
Te	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,073
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,092

Tableau F. 8 : AKA14 ENV 035 (unité 5A)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	41,9	42,09	41,71	42,96	43,47	46,17	45,67	44,35	43,99	44,09
pH		7,8	7,84	7,78	7,72	7,51	7,69	7,65	7,57	7,42	7,57
Eh	mV	665,1	377	588	456	580	623	608	601	608	573
Conductivité	µS/cm	255	109,6	83,2	73,2	70,3	61,1	65,9	64,3	65,8	63,6
Acidité	mg CaCO ₃ /L			2,8		0		2,2		2,2	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			42,7		42,7		35,1		51,9	
Al	mg/L	0,048	0,093	0,112	0,143	0,187	0,203	0,210	0,255	0,273	0,226
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,953	1,02	0,869	0,627	0,488	0,289	0,142	0,000	0,000	0,173
Ba	mg/L	0,010	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,001	0,001
Ca	mg/L	25,8	14,9	13,6	13,3	13,0	12,5	13,7	12,8	13,2	12,1
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	<0,003	<0,003	0,004	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,017	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	11,3	5,34	3,70	2,51	2,22	1,49	1,58	1,15	1,14	0,748
Li	mg/L	0,009	0,002	0,002	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	1,72	1,07	0,936	0,893	0,781	0,708	0,732	0,627	0,622	0,547
Mn	mg/L	0,005	0,002	0,002	0,002	0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mo	mg/L	0,019	0,011	<0,009	<0,009	<0,009	0,009	0,011	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	15,6	4,98	2,62	1,47	1,11	0,801	0,681	0,524	0,484	0,363
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	16,7	6,74	3,82	2,73	2,27	1,85	1,75	1,62	1,38	1,28
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	6,08	8,88	17,7	7,96	20,0	10,2	17,6	11,7	24,3	11,1
Sr	mg/L	0,097	0,062	0,053	0,047	0,046	0,033	0,035	0,032	0,031	0,029
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,017	0,010	0,006	0,006	0,005	<0,005	0,005	<0,005	0,005	<0,005

Tableau F.8 (suite) : AKA14 ENV 035

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml		44,27	41,81	46,26	63,3	44,61	43,01	43,23	43,15	
pH		7,68	7,71	7,76	7,64	7,85	7,90	7,63	7,73	7,91	7,96
Eh	mV	598	618	603	606	733	604	595	603	607	589
Conductivité	µS/cm	69,1	62,4	69,4	69,5	63,3	70	70,1	69,4	65,3	72,2
Acidité	mg CaCO ₃ /L	3,4		7,5		2,6		3,0		3,1	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	31,0		31,5		31,3		31,8		33,8	
Al	mg/L	0,213	0,221	0,203	0,146	0,164	0,121	0,156	0,155	0,181	0,156
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,128	N.D.	N.D.	0,000	0,000	n/d	0,000	0,000	0,000	0,000
Ba	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
Ca	mg/L	13,0	12,5	13,5	13,6	13,0	12,7	13,7	13,6	12,8	13,8
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	0,785	0,623	0,586	0,452	0,443	0,521	0,520	0,443	0,428	0,387
Li	mg/L	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,529	0,475	0,469	0,504	0,423	0,409	0,488	0,449	0,435	0,452
Mn	mg/L	<0,002	0,002	0,002	0,002	<0,002	0,005	0,005	0,006	0,002	0,004
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,351	0,292	0,276	0,263	0,222	0,321	0,287	0,250	0,200	0,196
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	1,13	1,00	1,44	1,85	1,85	2,01	2,06	1,65	1,53	1,42
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	21,3	13,9	16,7	9,25	9,46	5,60	10,7	9,94	11,1	8,70
Sr	mg/L	0,031	0,032	0,034	0,024	0,022	0,022	0,026	0,025	0,024	0,026
Te	mg/L	0,000	0,000	0,002	0,005	0,006	0,000	0,007	0,008	0,006	0,009
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,005	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.8 (suite) : AKA14 ENV 035

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	41,04	46,53	51,50	
pH		7,53	7,87	7,90	
Eh	mV	564	559		
Conductivité	μS/cm	85,8	81,0	64,9	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	2,72		1,6	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	38,16		36,16	
Al	mg/L	0,046	0,046	0,036	4,277
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,111	0,272	0,176	5,349
Ba	mg/L	0,001	<0,001	0,002	0,057
Ca	mg/L	19,0	17,8	13,7	471,800
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,008
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,026
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,017
K	mg/L	0,248	0,253	0,169	38,949
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,028
Mg	mg/L	0,275	0,266	0,191	16,572
Mn	mg/L	0,031	0,027	0,026	0,305
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,063
Na	mg/L	0,125	0,160	0,078	32,727
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	1,20	1,27	0,877	67,438
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,006
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	6,47	4,75	5,03	331,430
Sr	mg/L	0,026	0,024		1,003
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,075
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,006	0,070

Tableau F. 9 : AKA14 ENV 051 (unité 5B)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	42,18	43,32	39,18	40,06	39,82	42,65	40,56	42,21	45,29	41,08
pH		7,89	7,89	7,75	7,79	7,68	7,83	7,89	7,71	7,61	7,68
Eh	mV	654,3	353,8	595	456	546	642	623	603	613	616
Conductivité	µS/cm	165,7	107,2	88,0	94,0	72,9	75,8	74,7	71,9	64,2	69,4
Acidité	mg CaCO ₃ /L			0		0		5,3		2,5	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			45,2		35,7		67,8		56,5	
Al	mg/L	0,096	0,165	0,230	0,221	0,356	0,238	0,272	0,230	0,250	0,182
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	1,32	2,75	1,89	2,31	1,57	2,08	1,81	1,91	1,41	1,35
Ba	mg/L	0,012	0,005	0,004	0,003	0,003	0,003	0,003	0,002	0,002	0,003
Ca	mg/L	14,7	13,2	13,5	14,7	12,1	13,6	14,2	13,0	11,6	12,8
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,005	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,007	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	7,60	4,50	3,24	2,78	2,55	1,80	2,02	2,44	1,25	1,08
Li	mg/L	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,003	0,001	0,000	0,000
Mg	mg/L	1,29	1,21	1,18	1,27	0,972	0,999	1,06	0,843	0,765	0,814
Mn	mg/L	0,004	0,002	0,002	<0,002	0,002	0,003	0,002	0,004	0,004	0,004
Mo	mg/L	0,015	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	15,9	6,63	3,52	3,67	2,49	1,93	1,68	1,38	1,09	0,805
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	11,2	5,87	4,03	4,36	2,53	1,95	1,86	2,25	1,75	1,33
Sb	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	7,77	5,45	13,7	8,01	18,2	9,16	10,5	6,42	5,98	4,12
Sr	mg/L	0,084	0,088	0,083	0,090	0,071	0,059	0,062	0,052	0,046	0,051
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,016	0,008	0,006	0,006	0,005	0,006	<0,005	<0,005	0,006	<0,005

Tableau F.9 (suite) : AKA14 ENV 051

Jours		36	39	43	46	50	53	57	60	64	67
Vol. Lixiviat	ml	41,48	41,68	41,70	45,05	37,58	43,79	40,90	41,50	41,38	43,08
pH		7,71	7,71	7,72	7,97	7,59	8,08	7,82	7,86	7,94	8,18
Eh	mV	607	622	595	622	674	595	583	594	600	614
Conductivité	µS/cm	74,0	60,2	67,5	77,4	37,0	82,7	77,1	75,0	70,8	76,6
Acidité	mg CaCO ₃ /L	4,1		5,4		3,4		3,2		2,40	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	35,0		34,1		31,4		40,4		38,56	
Al	mg/L	0,264	0,202	0,275	0,124	0,036	0,097	0,209	0,237	0,237	0,181
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,713	N.D.	N.D.	0,000	0,000	n/d	1,08	0,289	0,367	2,20
Ba	mg/L	0,002	0,001	0,002	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002
Ca	mg/L	13,5	11,5	12,6	14,7	7,46	15,2	14,6	14,0	13,5	14,3
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	0,005	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	0,004	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	1,29	0,874	0,939	0,595	0,223	0,899	0,698	0,751	0,675	0,603
Li	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	mg/L	0,931	0,698	0,834	0,733	0,292	0,808	0,820	0,767	0,832	0,780
Mn	mg/L	<0,002	0,004	<0,002	0,008	0,008	0,007	0,006	0,006	0,002	0,007
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	0,771	0,575	0,606	0,476	0,217	0,758	0,511	0,496	0,456	0,513
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	1,19	0,861	1,02	1,04	0,651	1,76	1,29	1,000	0,981	1,22
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	14,3	9,92	12,8	7,66	1,97	8,32	5,19	7,99	7,25	6,94
Sr	mg/L	0,059	0,050	0,059	0,041	0,015	0,046	0,049	0,046	0,047	0,046
Te	mg/L	0,000	0,000	0,002	0,003	0,006	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	<0,002	<0,002	0,000	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,009	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.9 (suite) : AKA14 ENV 051

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	50,00	46,19	47,78	
pH		7,52	7,80	7,84	
Eh	mV	598	533	493	
Conductivité	μS/cm	76,1	74,3	74,1	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	3,68		2,24	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	38,32		38,24	
Al	mg/L	0,120	0,103	0,119	5,947
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,152	0,081	0,053	25,423
Ba	mg/L	0,001	0,001	0,002	0,088
Ca	mg/L	15,4	16,6	15,2	453,960
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,012
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,016
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,007
K	mg/L	0,349	0,295	0,261	41,907
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,024
Mg	mg/L	0,533	0,508	0,473	25,803
Mn	mg/L	0,007	0,008	0,009	0,155
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,015
Na	mg/L	0,199	0,181	0,160	48,305
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	0,916	0,843	0,797	60,930
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,005
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	5,51	4,74	5,41	241,310
Sr	mg/L	0,037	0,037	0,038	1,687
Te	mg/L	0,000	0,000	0,002	0,026
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,007	0,074

Tableau F. 10 : AKA14 ENV 053 (unité 5B)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	41,81	41,33	41,65	42,22	43,15	42,36	42,09	45,10	43,86	43,86
pH		7,91	7,79	7,93	7,83	7,73	7,80	7,89	7,62	7,63	7,58
Eh	mV	672,7	412,5	535	482	602	644	621	606	601	619
Conductivité	µS/cm	133,1	82,3	74,6	68,0	65,7	61,0	66,0	65,1	62,3	60,7
Acidité	mg CaCO ₃ /L			3,0		1,4		1,8		1,7	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			41,6		35,0		77,8		40,6	
Al	mg/L	0,223	0,374	0,453	0,442	0,553	0,502	0,445	0,436	0,450	0,361
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	0,798	0,971	0,865	0,493	0,327	0,375	0,326	0,164	0,079	0,447
Ba	mg/L	0,013	0,004	0,003	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,002	0,003
Ca	mg/L	9,28	10,2	10,7	11,0	12,2	11,7	13,8	12,5	12,4	12,1
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,007	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	4,90	2,75	2,23	1,51	1,41	0,835	0,798	0,694	0,722	0,508
Li	mg/L	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,003	0,003	0,000	0,000	0,001
Mg	mg/L	0,729	0,962	0,982	0,904	0,795	0,616	0,695	0,587	0,536	0,471
Mn	mg/L	0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,003	0,006	0,005	0,006	0,007
Mo	mg/L	0,029	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009	0,011	<0,009
Na	mg/L	16,8	6,59	4,43	2,33	1,95	1,32	1,09	0,947	0,906	0,649
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	6,81	2,89	1,87	1,17	0,966	0,814	0,868	0,834	0,680	0,716
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	3,15	5,50	11,4	6,11	11,4	7,09	8,09	6,35	11,4	5,26
Sr	mg/L	0,066	0,082	0,080	0,076	0,080	0,050	0,054	0,046	0,042	0,040
Te	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,013	0,007	0,005	0,007	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005

Tableau F.10 (suite) : AKA14 ENV 053

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	44,49	44,21	46,74	
pH		7,55	7,98	7,95	
Eh	mV	585	538	505	
Conductivité	μS/cm	104,6	94,6	79	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	4,40		3,68	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	40,88		41,04	
Al	mg/L	0,047	0,087	0,051	7,051
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,247	0,610	0,143	6,489
Ba	mg/L	0,002	0,001	0,002	0,085
Ca	mg/L	22,9	19,9	16,6	455,380
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,013
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,007
K	mg/L	0,162	0,287	0,121	21,820
Li	mg/L	0,000	0,001	0,000	0,022
Mg	mg/L	0,268	0,337	0,218	14,295
Mn	mg/L	0,045	0,024	0,033	0,513
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,040
Na	mg/L	0,190	0,401	0,137	43,928
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	1,21	1,96	0,975	37,613
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,004
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	2,88	5,22	1,76	159,570
Sr	mg/L	0,026	0,029	0,021	1,202
Te	mg/L	0,000	0,000	0,002	0,046
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,011	0,053

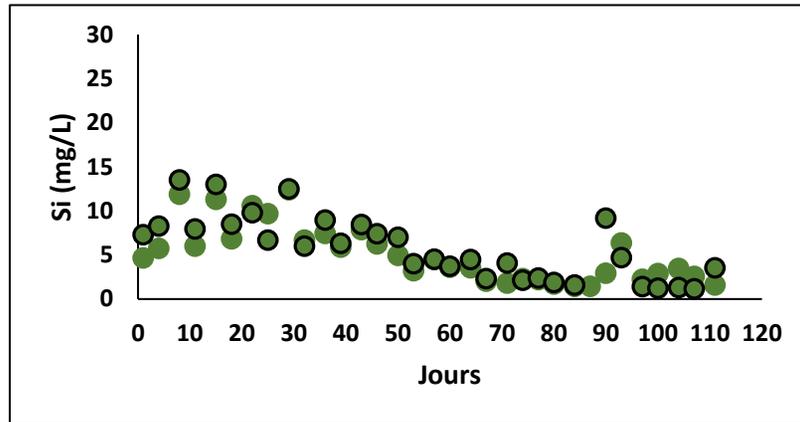
Tableau F. 11 : AKA14 ENV 075 (unité 5B)

Jours		1	4	8	11	15	18	22	25	29	32
Vol. Lixiviat	ml	42,64	41,71	40,75	40,80	41,45	42,93	41,29	42,79	44,86	42,66
pH		7,81	7,99	7,87	7,86	7,64	7,81	7,78	7,56	7,62	7,60
Eh	mV	654,8	394,3	473	602	601	633	580	599	608	584
Conductivité	µS/cm	241	117,8	84,9	85,4	76,0	67,7	69,9	69,7	63,2	68,3
Acidité	mg CaCO ₃ /L			0		2,4		1,9		1,8	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L			43,8		36,3		79,4		34,6	
Al	mg/L	0,110	0,190	0,243	0,272	0,331	0,327	0,296	0,312	0,344	0,267
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
B	mg/L	1,21	1,68	1,68	1,85	1,05	1,39	1,32	1,41	0,215	0,401
Ba	mg/L	0,017	0,005	0,003	0,004	0,003	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002
Ca	mg/L	20,1	15,4	13,5	14,5	13,7	12,7	14,3	13,0	12,8	13,1
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,006	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Cu	mg/L	0,009	0,006	0,003	0,003	0,004	<0,003	0,003	<0,003	<0,003	<0,003
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	0,015	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006	<0,006
K	mg/L	11,3	6,12	4,48	3,02	2,64	1,94	1,96	1,41	1,29	0,876
Li	mg/L	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000	0,002
Mg	mg/L	1,05	0,901	0,787	0,826	0,761	0,698	0,779	0,677	0,644	0,652
Mn	mg/L	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	<0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Mo	mg/L	0,037	0,021	0,012	<0,009	<0,009	0,009	<0,009	<0,009	<0,009	<0,009
Na	mg/L	18,0	7,07	3,61	2,26	1,74	1,28	1,18	0,899	0,704	0,512
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Stot	mg/L	16,3	7,36	3,31	2,84	2,30	1,69	1,73	1,64	1,21	1,13
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Si	mg/L	6,41	8,61	21,9	7,21	14,8	8,58	12,0	7,93	15,6	7,64
Sr	mg/L	0,119	0,103	0,085	0,088	0,082	0,057	0,063	0,055	0,052	0,055
Te	mg/L	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	0,020	0,011	<0,005	0,006	0,006	0,006	<0,005	0,006	<0,005	<0,005

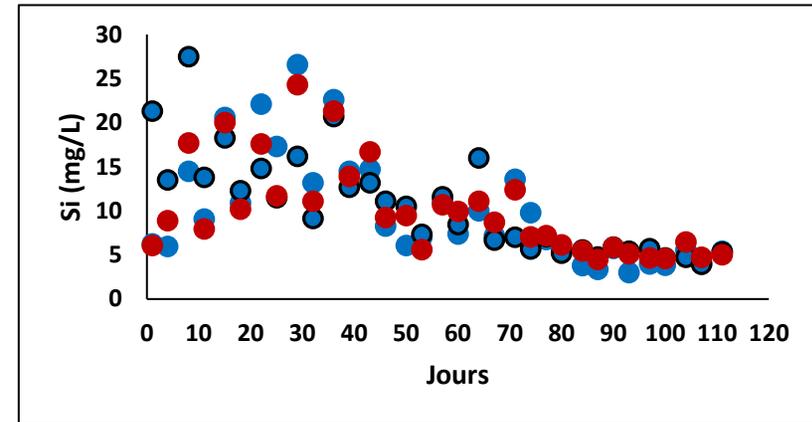
Tableau F.11 (suite) : AKA14 ENV 075

Jours		104	107	111	Tot. Lixivié
Vol. Lixiviat	ml	46,69	45,75	46,32	
pH		7,71	7,83	8,06	
Eh	mV	572	548		
Conductivité	μS/cm	91,5	79,5	84,7	
Acidité	mg CaCO ₃ /L	3,44		3,04	
Alcalinité	mg CaCO ₃ /L	42,80		38,96	
Al	mg/L	0,103	0,080	0,105	6,277
As	mg/L	<0,06	<0,06	<0,06	0,000
B	mg/L	0,227	0,263	0,228	13,658
Ba	mg/L	<0,001	0,001	0,003	0,085
Ca	mg/L	19,9	19,5	18,1	509,000
Cd	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Co	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,019
Cr	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,000
Cu	mg/L	<0,003	<0,003	<0,003	0,031
Fe	mg/L	<0,006	<0,006	<0,006	0,076
K	mg/L	0,243	0,255	0,243	44,302
Li	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,023
Mg	mg/L	0,339	0,341	0,333	18,293
Mn	mg/L	0,025	0,025	0,021	0,244
Mo	mg/L	<0,009	<0,009	<0,009	0,097
Na	mg/L	0,174	0,174	0,173	43,521
Ni	mg/L	<0,004	<0,004	<0,004	0,000
Pb	mg/L	<0,02	<0,02	<0,02	0,000
Stot	mg/L	1,11	1,23	1,22	65,032
Sb	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,007
Se	mg/L	<0,1	<0,1	<0,1	0,000
Si	mg/L	6,64	3,89	4,67	272,300
Sr	mg/L	0,033	0,032	0,034	1,682
Te	mg/L	0,000	0,000	0,001	0,061
Ti	mg/L	0,000	0,000	0,000	0,000
Zn	mg/L	<0,005	<0,005	0,008	0,077

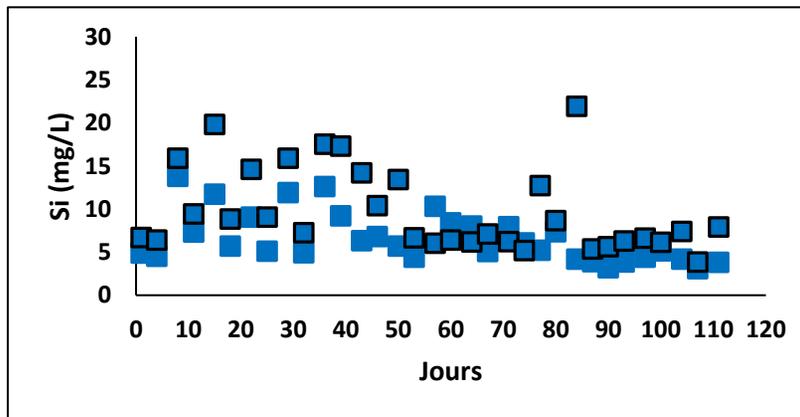
ANNEXE G – DIAGRAMMES SI, AL, NA, K ET MG DES ESSAIS CINÉTIQUES



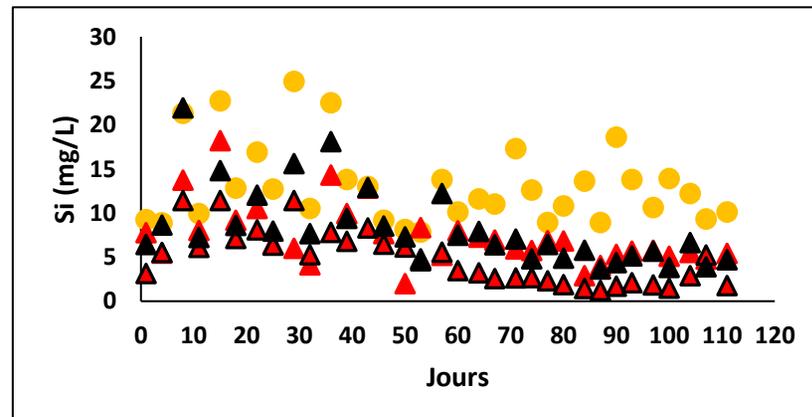
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021 (●) et AKA14 ENV 070 (●)



B) Dacites (unités 4A, 5A) – AKA14 ENV-064 (●), AKA14 ENV-004 (●) et AKA14 ENV-035 (●).

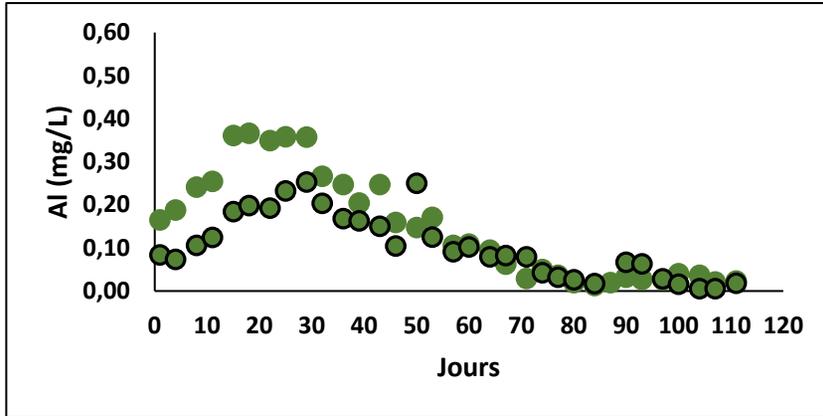


C) Intrusions Dacitiques (unité 4A) – AKA14 ENV-085 (■) et AKA14 ENV-033 (■).

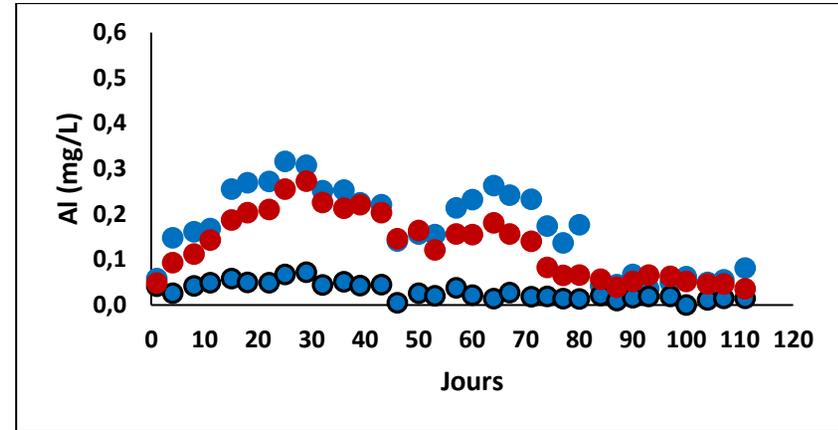


D) Andésites alcalines (unités 4B, 5B) – AKA14 ENV-067(●); AKA14 ENV-051 (▲); -053 (▲) et -075 (▲)

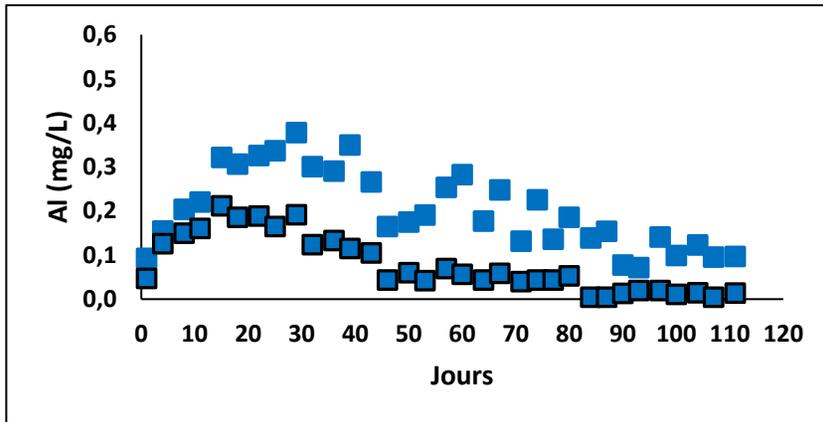
Figure G-1 : Analyses des lixiviat (Si) des échantillons en mini cellules d'altération



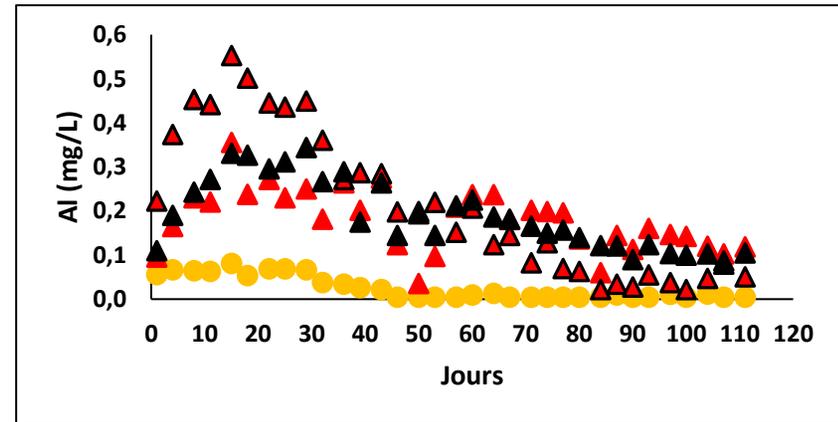
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV 070



B) Dacites (unités 4A, 5A) – AKA14 ENV-064, AKA14 ENV-004 et AKA14 ENV-035.

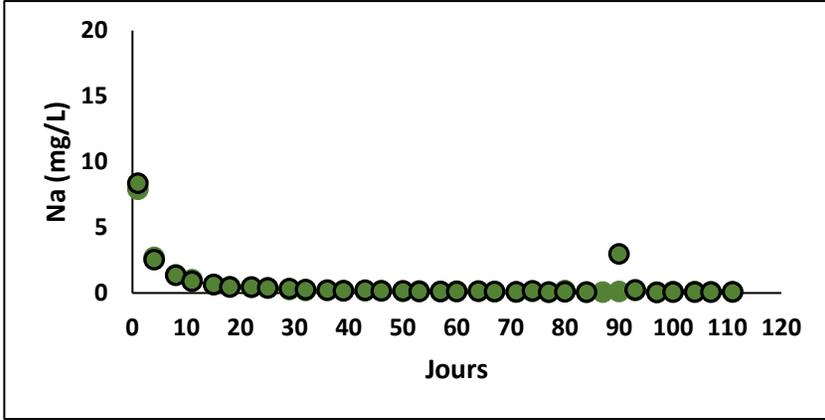


C) Intrusions Dacitiques (unité 4A) – AKA14 ENV-085 et AKA14 ENV-033.

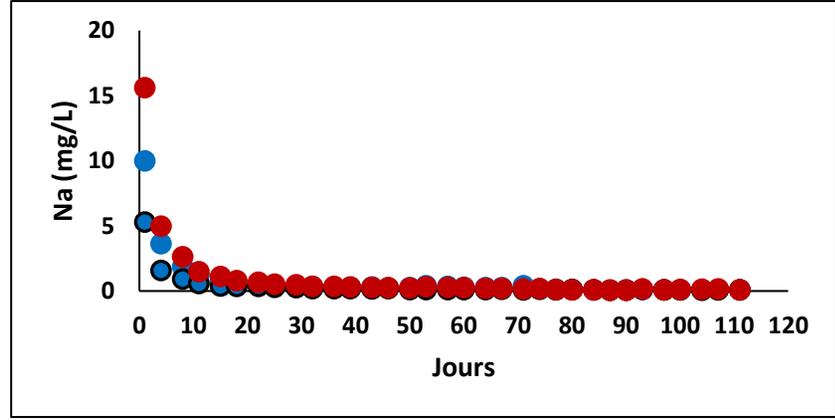


D) Andésites alcalines (unités 4B, 5B) – AKA14 ENV-067; AKA14 ENV-051; -053 et -075.

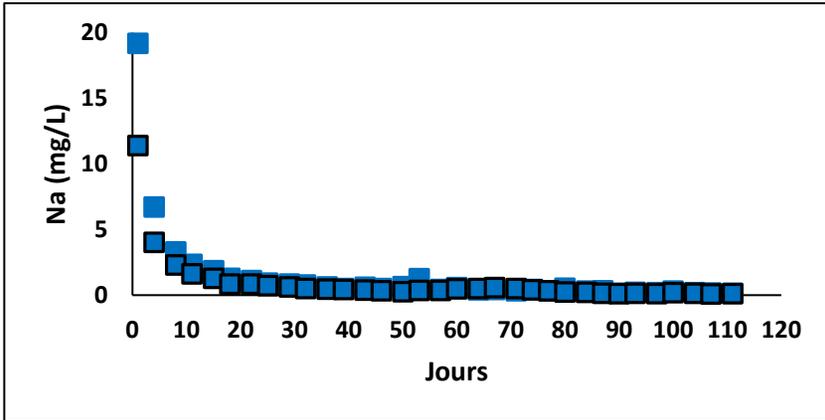
Figure G-2 : Analyses des lixiviat (Al) des échantillons en mini cellules d'altération



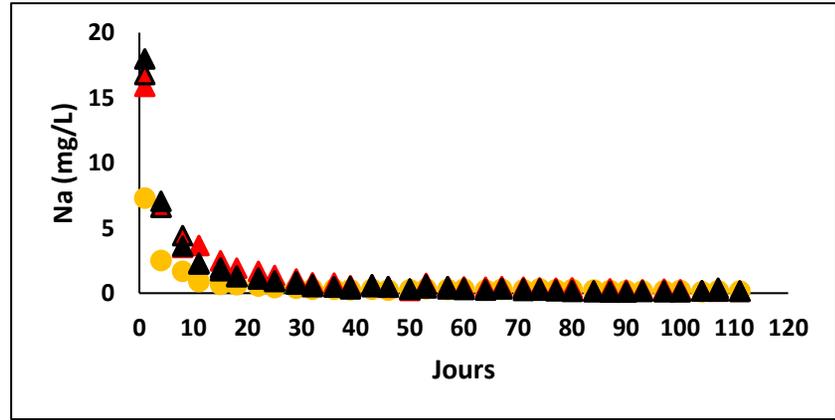
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV 070.



B) Dacites (unités 4A, 5A) – AKA14 ENV-064, AKA14 ENV-004 et AKA14 ENV-035.

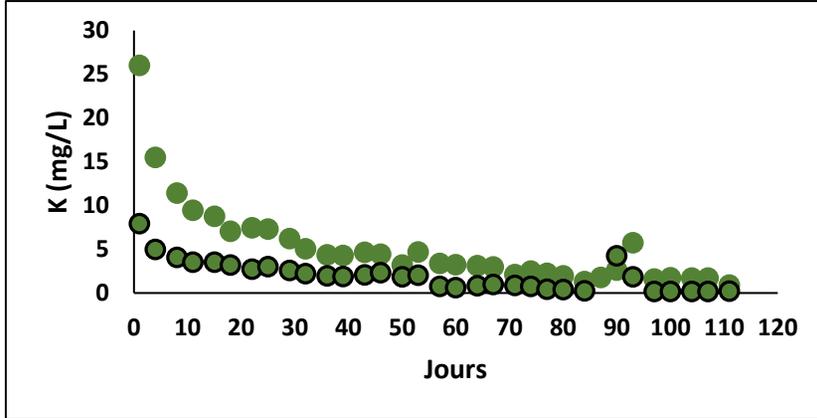


C) Intrusions Dacitiques (unité 4A) – AKA14 ENV-085 et AKA14 ENV-033.

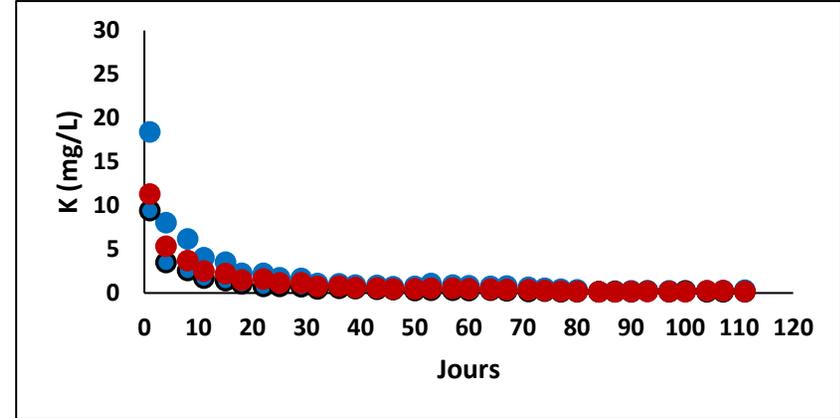


D) Andésites alcalines (unités 4B, 5B) – AKA14 ENV-067; AKA14 ENV-051; -053 et -075.

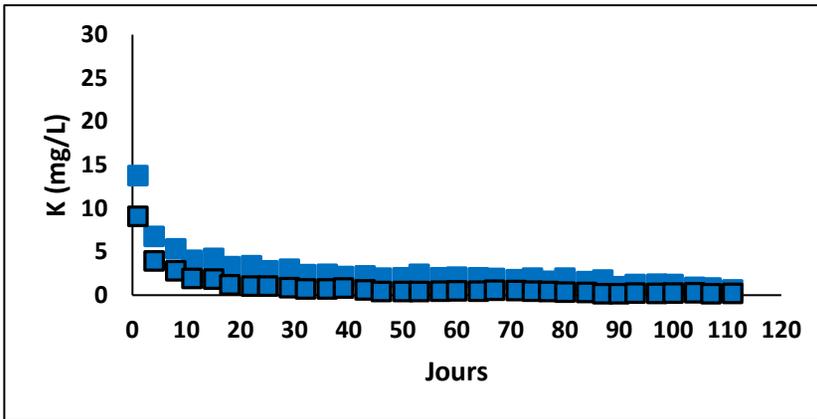
Figure G-3 : Analyses des lixiviat (Na) des échantillons en mini cellules d'altération



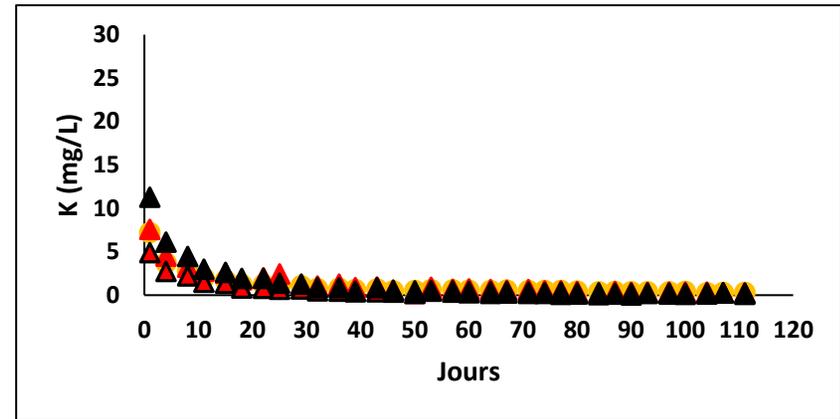
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV 070.



B) Dacites (unités 4A, 5A) – AKA14 ENV-064, AKA14 ENV-004 et AKA14 ENV-035.

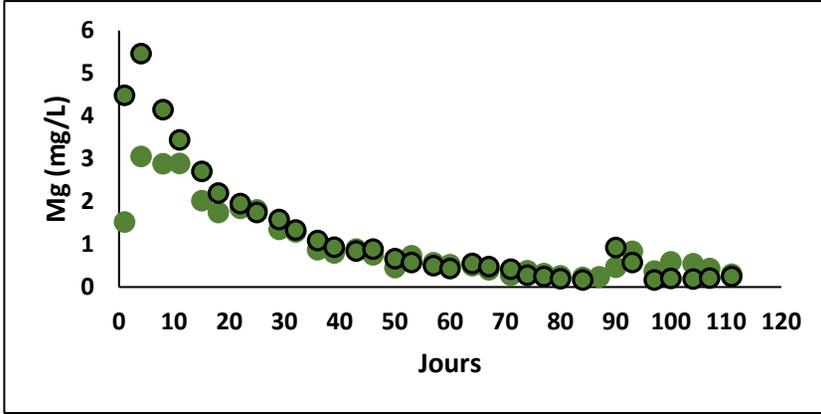


C) Intrusions Dacitiques (unité 4A) – AKA14 ENV-085 et AKA14 ENV-033.

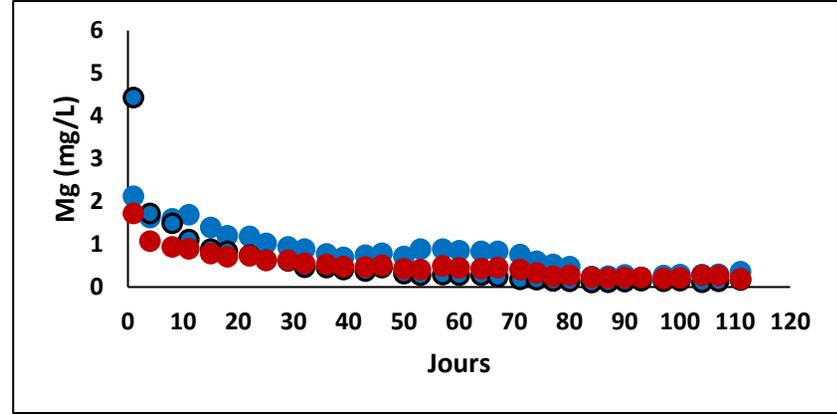


D) Andésites alcalines (unités 4B, 5B) – AKA14 ENV-067; AKA14 ENV-051; -053 et -075.

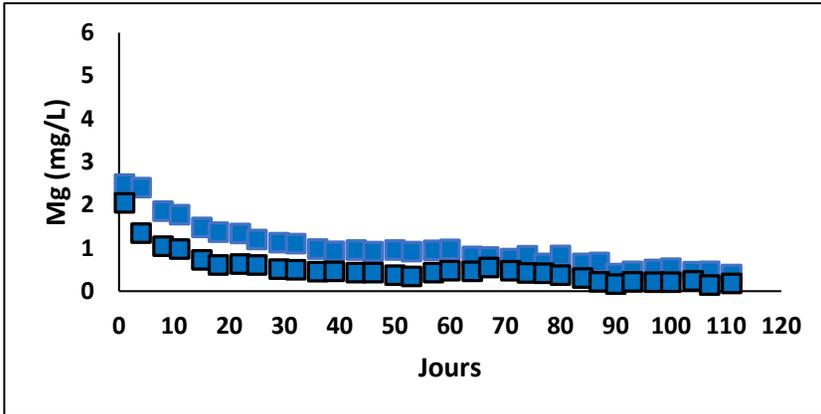
Figure G-4 : Analyses des lixiviats (K) des échantillons en mini cellules d'altération



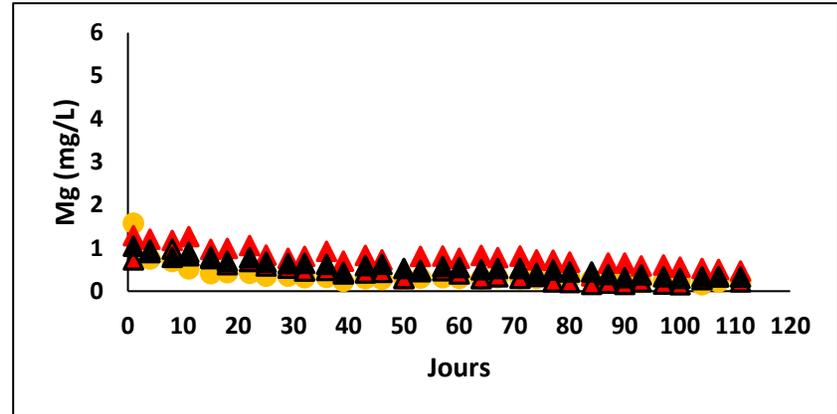
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021 et AKA14 ENV 070.



B) Dacites (unités 4A, 5A) – AKA14 ENV-064, AKA14 ENV-004 et AKA14 ENV-035.



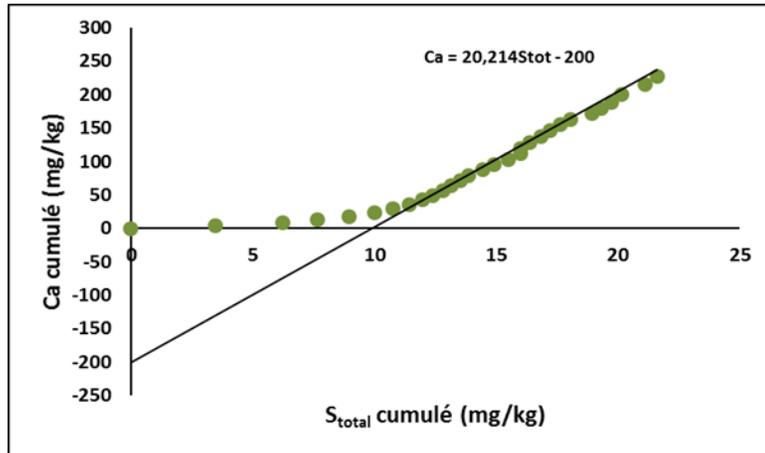
C) Intrusions Dacitiques (unité 4A) – AKA14 ENV-085 et AKA14 ENV-033.



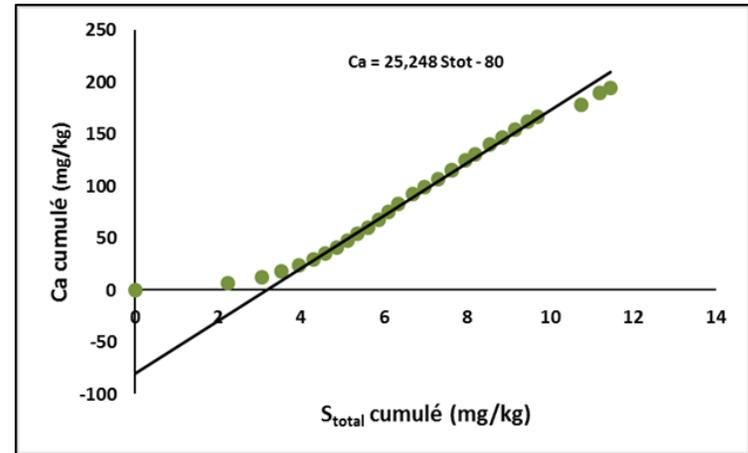
D) Andésites alcalines (unités 4B, 5B) – AKA14 ENV-067; AKA14 ENV-051; -053 et -075.

Figure G-5 : Analyses des lixiviat (Mg) des échantillons en mini cellules d'altération

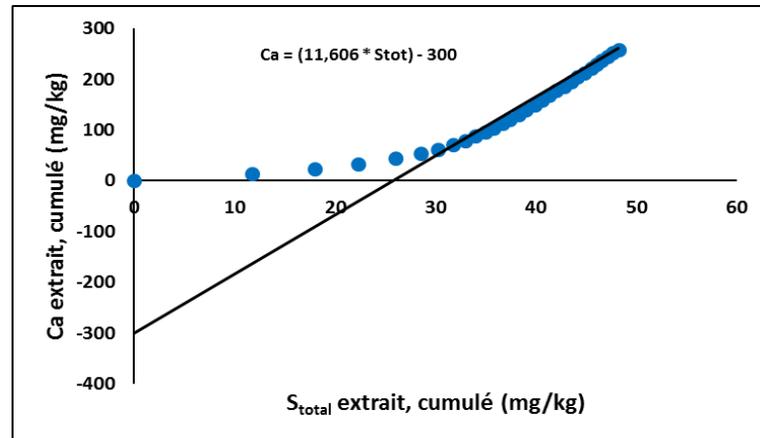
ANNEXE H - DIAGRAMMES DES DROITES D'OXYDO-NEUTRALISATION



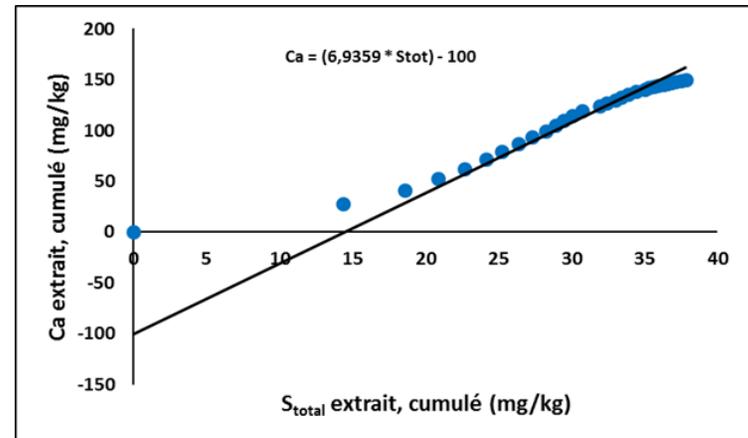
A) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-021



B) Basaltes andésitiques (unité 1) – AKA14 ENV-070

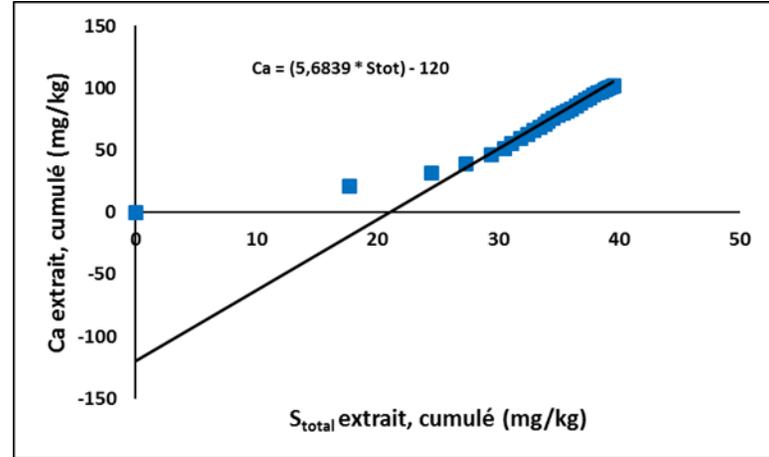
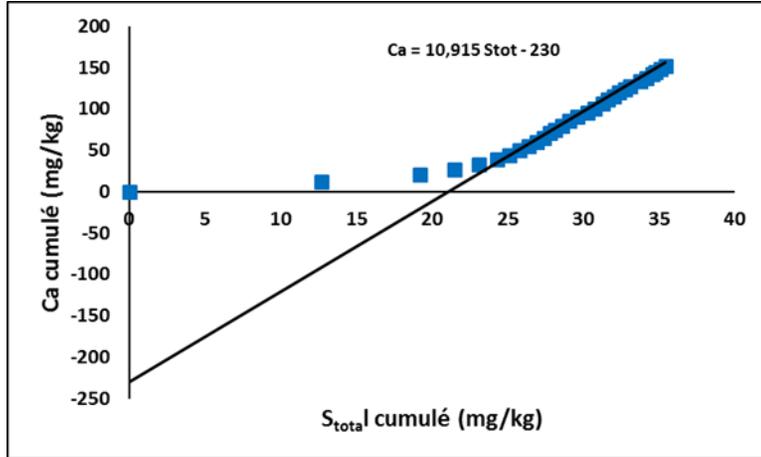


C) Tufs dacitiques (unité 4A) - AKA14 ENV-064



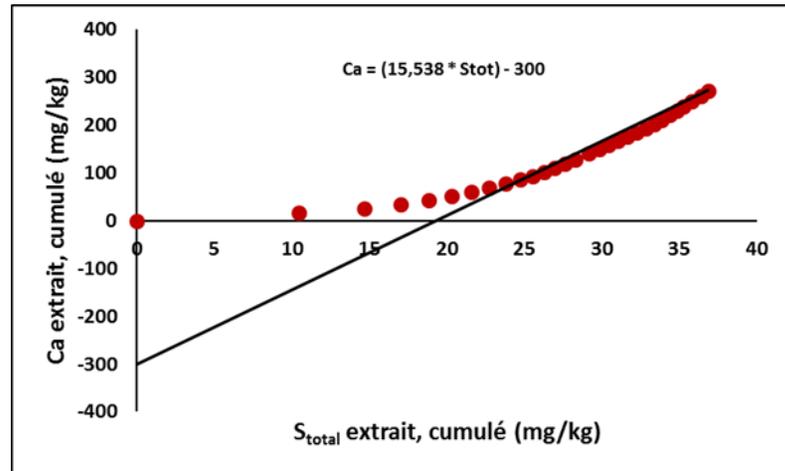
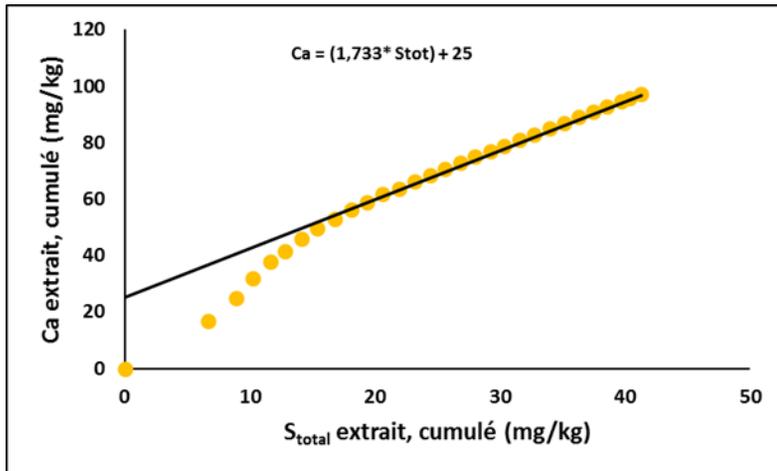
D) Dacite minéralisée (unité 4A) – AKA14 ENV-004

Figure H-1 : Droites d'oxydo-neutralisation pour les basaltes andésitiques, unité 1 (A et B), tufs dacitiques, dacites unités 4A (C et D)



E) AKA14 ENV-085 – Intrusion QFP

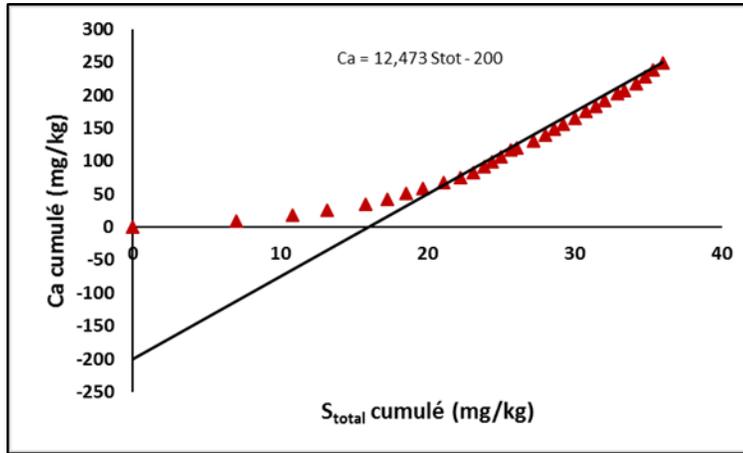
F) Intrusion dacitique (unité 4A) – AKA14 ENV-033



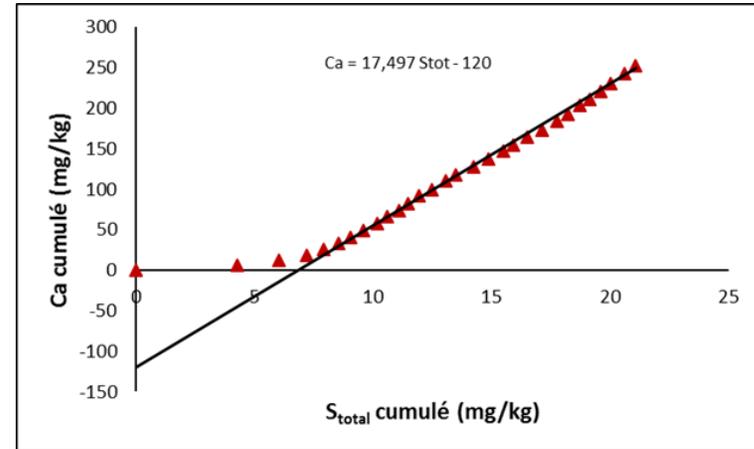
G) Andésites alcalines (unité 4B) – AKA14 ENV-067

H) Dacites minéralisées (unité 5A) – AKA14 ENV-035

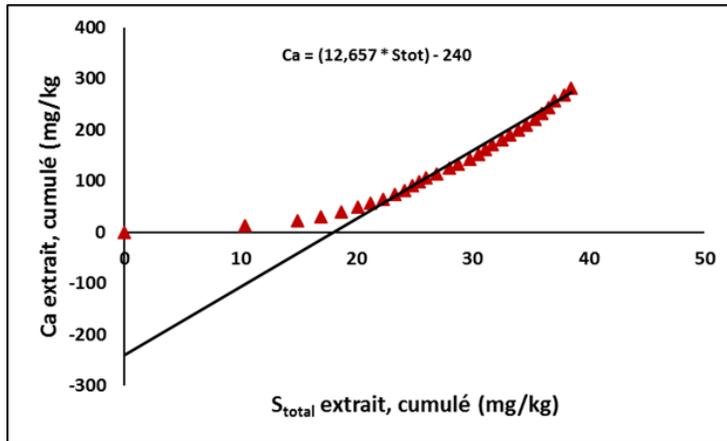
Figure H-2. : Droites d'oxydo-neutralisation : intrusions dacitiques, unité 4A (E et F), andésites alcalines, unité 4B (G) et dacites minéralisées unité 4A (H)



I) Andésites alcalines (unité 5B) – AKA14 ENV-051



J) Andésites alcalines (unité 5B) – AKA14 ENV-053



K) Andésites alcalines (unité 5B) – AKA14 ENV-075

Figure H-3. Droites d'oxydo-neutralisation : andésites alcalines, unité 5B (I, J et K)

ANNEXE I - RÉSULTATS DES ANALYSES D'ESSAIS SÉQUENTIELLES

Tableau I. 1 : Échantillon AKA14 ENV-021 (Basaltes andésitiques : unité 1)

Lixiviation	Essais	Si	Al	Ti	Fe	Mn	Mg	Ca	K	Na	Ba
		(mg/L)									
Échangeable	1	0	0	<0,002	0,0003	0,1	1900	16	0,704	3,0	0,028
Échangeable	2	0	0	<0,002	0,0003	0,1	2070	20	1,04	4,6	0,037
Échangeable	3	0	0	<0,002	0,0003	0,1	2060	18	1,000	3,7	0,032
Carbonates	1	1	0	<0,002	3,58	2,5	65,6	254	0,000	25,9	0,235
Carbonates	2	1	0	<0,002	3,41	2,5	48,6	253	6430	20,0	0,318
Carbonates	3	1	0	<0,002	2,65	2,1	147	220	6650	14,8	0,233
Oxydes Fe-Mn	1	39	20	0,460	52,7	1,7	30,6	118	4,52	22,6	0,400
Oxydes Fe-Mn	2	44	24	0,568	61,4	1,2	35,6	54	8,92	24,9	0,409
Oxydes Fe-Mn	3	33	18	0,409	50,4	2,2	28,2	188	3,05	22,4	0,398

Tableau I. 2 : Échantillon AKA14 ENV-070 (Basaltes andésitiques : unité 1)

Lixiviation	Essais	Si	Al	Ti	Fe	Mn	Mg	Ca	K	Na	Ba
		(mg/L)									
Échangeable	1	0	0	<0,002	0,007	0,1	1910	13	0,757	0,7	0,012
Échangeable	2	0	0	<0,002	0,0003	0,1	2030	13	0,899	0,7	0,012
Échangeable	3	0	0	<0,002	0,0003	0,1	2030	13	0,899	0,7	0,013
Carbonates	1	0	0	<0,002	2,22	0,6	60,6	75	0,000	5,3	0,053
Carbonates	2	1	0	<0,002	2,06	0,6	56,1	81	6820	5,7	0,054
Carbonates	3	0	0	<0,002	3,14	0,7	20,6	91	6740	7,1	0,072
Oxydes Fe-Mn	1	20	9	0,261	37,0	1,0	11,9	59	22,7	1,5	0,090
Oxydes Fe-Mn	2	20	10	0,290	36,0	1,1	12,8	66	20,1	2,2	0,092
Oxydes Fe-Mn	3	26	13	0,325	40,7	0,9	15,5	38	3,18	4,3	0,113

Tableau I. 1 (suite) : Échantillon AKA14 ENV-021 (Basaltes andésitiques : unité 1)

Lixiviation	Essais	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Mo (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Se (mg/L)	S_{total} (mg/L)
Échangeable	1	0,014	<0,005	0,017	<0,02	0,112	0,754	<0,004	0,010	<0,1	2,36
Échangeable	2	0,026	<0,005	0,016	<0,02	0,118	0,786	<0,004	0,010	<0,1	2,58
Échangeable	3	0,017	<0,005	0,010	<0,02	0,112	0,765	<0,004	0,009	<0,1	2,26
Carbonates	1	0,042	0,028	0,028	<0,02	<0,06	0,037	0,010	0,051	<0,1	5,59
Carbonates	2	0,040	0,009	0,029	0,026	<0,06	0,056	0,028	0,056	<0,1	6,51
Carbonates	3	0,028	0,010	0,027	0,049	<0,06	0,062	0,020	0,042	<0,1	6,06
Oxydes Fe-Mn	1	0,151	0,112	0,159	0,029	<0,06	0,183	0,060	0,632	0,195	2,09
Oxydes Fe-Mn	2	0,182	0,150	0,177	<0,02	<0,06	0,245	0,060	0,672	0,229	0,169
Oxydes Fe-Mn	3	0,138	0,126	0,177	<0,02	<0,06	0,245	0,060	0,672	0,221	4,01

Tableau I. 2 (suite) : Échantillon AKA14 ENV-070 (Basaltes andésitiques : unité 1)

Lixiviation	Essais	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Mo (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Se (mg/L)	S_{total} (mg/L)
Échangeable	1	0,010	<0,005	0,011	<0,02	0,125	0,771	<0,004	0,010	<0,1	2,02
Échangeable	2	0,013	<0,005	<0,009	<0,02	0,120	0,749	<0,004	0,009	<0,1	2,02
Échangeable	3	0,010	<0,005	0,010	<0,02	0,107	0,765	<0,004	0,010	<0,1	2,37
Carbonates	1	0,093	0,026	0,032	<0,02	<0,06	0,034	0,005	0,057	<0,1	1,62
Carbonates	2	0,105	<0,005	0,065	0,038	<0,06	0,035	0,026	0,056	<0,1	1,73
Carbonates	3	0,096	<0,005	0,077	0,036	<0,06	0,049	0,028	0,101	<0,1	2,05
Oxydes Fe-Mn	1	0,626	0,120	0,232	<0,02	<0,06	0,241	0,046	0,673	0,266	0,184
Oxydes Fe-Mn	2	0,647	0,105	0,245	<0,02	<0,06	0,257	0,088	0,600	0,277	0,396
Oxydes Fe-Mn	3	0,688	0,096	0,145	<0,02	<0,06	0,215	0,045	0,573	0,222	0,05

Tableau I.3 : Échantillon AKA14 ENV-035 (Dacite type 2 unité 5A)

Lixiviation	Essais	Si (mg/L)	Al (mg/L)	Ti (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Ba (mg/L)
Échangeable	1	0,7	0,0	<0,002	0,003	0,065	1910	16,3	0,723	0,522	0,015
Échangeable	2	0,9	0,0	<0,002	0,003	0,073	2020	18,3	1,09	0,584	0,015
Échangeable	3	0,8	0,0	<0,002	0,003	0,071	2030	17,5	1,04	0,566	0,014
Carbonates	1	1,3	0,3	<0,002	1,39	0,727	21,3	158	0,000	0,667	0,032
Carbonates	2	1,6	0,5	<0,002	1,17	0,788	23,0	179	6750	0,031	0,037
Carbonates	3	1,4	0,5	<0,002	1,02	0,711	36,4	163	6800	1,06	0,032
Oxydes Fe-Mn	1	27,1	8,0	0,017	26,9	0,439	7,12	50,2	5,91	0,000	0,039
Oxydes Fe-Mn	2	26,5	7,9	0,016	25,2	0,423	7,27	45,3	5,36	0,000	0,041
Oxydes Fe-Mn	3	24,5	7,3	0,016	22,3	0,345	6,17	31,4	2,44	0,000	0,036

Tableau I.4 : Échantillon AKA14 ENV-053 (Andésite alcaline type 2 unité 5B)

Lixiviation	Essais	Si (mg/L)	Al (mg/L)	Ti (mg/L)	Fe (mg/L)	Mn (mg/L)	Mg (mg/L)	Ca (mg/L)	K (mg/L)	Na (mg/L)	Ba (mg/L)
Échangeable	1	0,3	0,0	<0,002	0,003	0,061	1860	15,8	0,588	0,361	0,013
Échangeable	2	0,3	0,0	<0,002	0,003	0,060	2030	16,2	0,742	0,377	0,012
Échangeable	3	0,3	0,0	<0,002	0,003	0,057	2000	15,5	0,777	0,351	0,013
Carbonates	1	0,6	0,3	<0,002	3,17	1,26	8,55	328	0,000	0,674	0,042
Carbonates	2	0,9	0,4	<0,002	2,88	1,10	11,7	298	6400	0,878	0,040
Carbonates	3	0,6	0,4	<0,002	2,96	1,02	4,45	275	6570	0,586	0,044
Oxydes Fe-Mn	1	15,0	9,9	0,002	21,0	0,580	7,57	134	4,47	0,000	0,058
Oxydes Fe-Mn	2	14,6	10,1	0,003	20,2	0,515	7,71	118	6,32	0,000	0,054
Oxydes Fe-Mn	3	14,1	9,7	0,005	18,9	0,492	7,08	113	3,58	0,000	0,057

Tableau I.3 (suite) : Échantillon AKA14 ENV-035 (Dacite type 2 unité 5A)

Lixiviation	Essais	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Mo (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Se (mg/L)	S _{total} (mg/L)
Échangeable	1	0,008	<0,005	<0,009	<0,02	0,114	0,769	0,005	0,009	<0,1	2,3
Échangeable	2	0,011	<0,005	0,013	<0,02	0,118	0,763	0,007	0,009	<0,1	2,5
Échangeable	3	0,009	<0,005	0,011	<0,02	0,122	0,777	<0,004	0,009	<0,1	2,4
Carbonates	1	0,131	0,025	0,032	0,025	<0,06	0,027	0,005	0,006	<0,1	3,5
Carbonates	2	0,150	0,010	0,044	0,064	<0,06	0,036	<0,004	<0,003	<0,1	4,5
Carbonates	3	0,139	0,022	<0,009	0,071	<0,06	0,035	<0,004	<0,003	<0,1	4,2
Oxydes Fe-Mn	1	0,341	0,170	0,199	0,114	<0,06	0,101	<0,004	0,303	0,301	0,1
Oxydes Fe-Mn	2	0,341	0,121	0,231	0,064	<0,06	0,065	0,040	0,321	0,169	0,1
Oxydes Fe-Mn	3	0,318	0,080	0,212	0,050	<0,06	0,055	0,033	0,263	0,260	0,1

Tableau I.4 (suite) : Échantillon AKA14 ENV-053 (Andésite alcaline type 2 unité 5B)

Lixiviation	Essais	Cu (mg/L)	Zn (mg/L)	Mo (mg/L)	Pb (mg/L)	As (mg/L)	Ni (mg/L)	Co (mg/L)	Cr (mg/L)	Se (mg/L)	S _{total} (mg/L)
Échangeable	1	0,026	0,008	0,012	<0,02	0,100	0,598	<0,004	0,007	<0,1	2,0
Échangeable	2	0,012	0,024	0,009	<0,02	0,110	0,606	0,005	0,007	<0,1	2,1
Échangeable	3	0,023	<0,005	0,020	<0,02	0,109	0,599	<0,004	0,007	<0,1	2,0
Carbonates	1	0,027	0,025	0,029	<0,02	<0,06	0,029	0,015	0,028	<0,1	7,2
Carbonates	2	0,016	0,020	<0,009	0,038	<0,06	0,044	<0,004	0,024	<0,1	7,6
Carbonates	3	0,018	0,022	0,030	0,033	<0,06	0,040	0,022	0,026	<0,1	7,2
Oxydes Fe-Mn	1	0,088	0,079	0,129	0,027	<0,06	0,071	0,049	0,502	0,236	2,5
Oxydes Fe-Mn	2	0,091	0,084	0,191	0,027	<0,06	0,085	0,058	0,446	0,239	2,2
Oxydes Fe-Mn	3	0,089	0,055	0,187	0,024	<0,06	0,073	0,035	0,437	0,247	1,8

ANNEXE J : CHIMIE MNÉRALE

Tableau J. 1 : Compositions chimiques moyennes des calcites

Échantillons	Unité	n	C	Ca	Fe	Mn	Mg	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	24	15,09	30,95	0,48	0,32		53,01	99,85
AKA14 ENV-021	1	9	15,52	30,38		0,34		53,65	99,89
AKA14 ENV-070	1	17	17,89	24,00	0,34	0,21		57,53	99,97
AKA14 ENV-067	4B	6	22,57	31,07	0,11	0,03	0,15	46,07	100,00
AKA14 ENV-035	5A	18	19,59	38,93				41,42	99,94
AKA14 ENV-053	5B	11	16,98	34,87				48,15	100,00

Tableau J. 2 : Compositions chimiques moyennes du quartz

Échantillons	Unité	n	Si	O	Total
			(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	12	46,74	53,26	100
AKA14 ENV-070	1	6	46,74	53,26	100
AKA14 ENV-067	4B	3	51,99	48,01	100
AKA14 ENV-035	5A	7	39,93	60,07	100
AKA14 ENV-053	5B	6	50,36	49,64	100

Tableau J. 3 : Compositions chimiques moyennes de l'albite

Échantillons	Unité	n	Si	Al	Na	Ca	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	3	32,08	10,39		8,26	48,84	99,56
AKA14 ENV-070	1	3	32,27	9,75	1,15	7,24	48,88	99,29
AKA14 ENV-067	4B	3	30,83	11,62	0,48	9,72	47,34	99,99
AKA14 ENV-035	5A	1	41,17	2,28		3,43	53,12	100,00
AKA14 ENV-035	5A	1	35,80	14,56		4,76	44,87	99,99
AKA14 ENV-053	5B	8	31,73	9,05		7,77	51,41	99,96

Tableau J. 4 : Compositions chimiques moyennes de l'orthose

Échantillons	Unité	n	Si	Al	K	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	3	30,94	9,24	13,60	46,24	100,01
AKA14 ENV-070	1	3	30,97	9,28	13,46	46,30	100,00

Tableau J. 5 : Compositions chimiques moyennes de l'actinote

Échantillons	Unité	n	Si	Al	Fe	Mg	Ca	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	8	27,13	0,94	8,24	10,33	9,16	44,38	100,17
AKA14 ENV-070	1	4	27,15	0,99	7,92	10,28	8,95	44,49	99,77

Tableau J. 6 : Compositions chimiques moyennes de la séricite

Échantillons	Unité	n	Si	K	Al	Fe	Mg	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-035	5A	11	21,87	9,92	20,23	2,45	0,85	44,04	99,36
AKA14 ENV-053	5B	1	21,98	9,26	19,38	0,84		48,53	99,99

Tableau J. 7 : Compositions chimiques moyennes de la chlorite

Échantillons	Unité	Variété	n	Si	Al	Fe	Mn	Mg	O	Total
				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-070	1	Chlorite Fe-Mg	1	15,10	11,85	20,50	0,60	10,95	41,00	100,00
AKA14 ENV-053	5B	Chlorite Fe-Mg	2	6,85	11,28	24,42		10,82	46,65	100,01
AKA14 ENV-053	5B	Clinochlore	1	11,11	16,53	12,98		13,42	45,96	100,00
AKA14 ENV-067	4B	Clinochlore	4	10,93	11,23	16,30		11,33	50,22	100,00
AKA14 ENV-067	4B		3	26,03	12,11	6,35		1,80	52,33	98,61
AKA14 ENV-035	5A		1	12,49	13,09	2,89		13,41	58,12	100,00

Tableau J. 8 : Compositions chimiques moyennes de la biotite

Échantillons	Unité	n	Si	Al	Ti	Fe	K	Mg	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-070	1	5	19,38	8,73	0,71	12,09	8,88	8,95	41,40	100,14

Tableau J. 9 : Compositions chimiques moyennes de l'épidote

Échantillons	Unité	n	Si	Ca	Al	Fe	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	35	19,11	12,18	12,18	9,37	42,21	99,68
AKA14 ENV-070	1	18	19,00	11,82	11,82	10,26	41,94	99,77
AKA14 ENV-067	4B	5	15,47	12,18	12,18	9,41	44,56	100,00
AKA14 ENV-035	5A	4	16,60	19,53	13,05	10,21	40,76	100,15
AKA14 ENV-053	5B	5	17,49	14,43	14,43	7,96	40,66	99,84

Tableau J. 10 : Compositions chimiques moyennes de l'apatite

Échantillons	Unité	n	Ca	P	F	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-067	4B	1	38,89	16,39	4,79	39,93	100

Tableau J. 11 : Compositions chimiques moyennes de la titanite (sphène)

Échantillons	Unité	n	Si	Al	Ti	Fe	Ca	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	4	15,15	0,74	21,72	1,15	20,35	40,89	100,00
AKA14 ENV-070	1	4	15,35	0,72	22,18	1,06	20,11	41,04	100,44
AKA14 ENV-067	4B	1	11,34	1,13	19,64		18,97	48,92	100,00
AKA14 ENV-035	5A	5	12,72	2,25	24,25		21,91	38,65	99,79
AKA14 ENV-035	5A	3	16,39	4,35	15,22	0,36	17,38	46,20	99,90

Tableau J. 12 : Compositions chimiques moyennes du rutile

Échantillons	Unité	n	Ca	Ti	Mn	O	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-053	5B	1	7,13	40,46	0,00	52,41	100,00
AKA14 ENV-053	5B	1	4,01	42,60	1,02	52,37	100,00

Tableau J. 13 : Compositions chimiques moyennes de la wustite

Échantillons	Unité	n	Fe	O	Total
			(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-070	1	5	77,63	22,28	99,91

Tableau J. 14 : Compositions chimiques moyennes de la pyrite

Échantillons	Unité	n	Fe	S	Total
			(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	9	43,61	56,39	100,00
AKA14 ENV-070	1	11	43,21	56,79	100,00
AKA14 ENV-035	5A	8	48,59	51,41	100,00
AKA14 ENV-067	4B	1	47,65	52,35	100,00
AKA14 ENV-053	5B	3	44,00	56,00	100,00
AKA14 ENV-053	5B	1	35,56	64,44	100,00

Tableau J. 15 : Compositions chimiques moyennes de la chalcopryrite

Échantillons	Unité	n	Fe	Cu	S	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-021	1	13	29,46	32,71	37,83	100,00
AKA14 ENV-070	1	11	29,48	32,24	38,28	100,00
AKA14-ENV-067	4B	4	31,10	34,77	34,14	100,00
AKA14-ENV-035	5A	7	31,16	31,86	36,98	100,00
AKA14-ENV-035	5A	4	32,06	34,30	33,65	100,00

Tableau J.15 (suite) : Compositions chimiques moyennes de la chalcopyrite

Échantillons	Unité	n	Fe	Cu	S	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-067	4B	3	32,22	32,52	34,72	99,46
AKA14 ENV-067	4B	4	31,28	34,43	34,30	100,00

Tableau J. 16 : Compositions chimiques moyennes de la digénite

Échantillons	Unité	n	Fe	Cu	S	Total
			(%)	(%)	(%)	(%)
AKA14 ENV-067	4B	3	1,49	75,53	22,97	99,99
AKA14 ENV-035	5A	1	3,88	70,23	25,89	100,00