



République Algérienne Démocratique et Populaire.

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique.

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques.

Département de Géologie.

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du Diplôme de Master en Sciences de la Terre et de l'Univers.

Spécialité : Ressources Minérales, Géomatériaux et Environnement.

Thème :

Etude des caractéristiques géotechniques et pétrographiques de la pouzzolane de la région de Béni Saf

Réalisé par :

HADJ HAMOU Yasmine

SID 'ELEMINE Mohamed

Soutenu publiquement le 08-06-2026 devant le Jury composé de :

M. MAKHLOUF Ali	M.C. A à L'UMMTO	Président
M. HAMIS Ahmed	M.C. A à L'UMMTO	Encadreur
M. SAMI Lounis	Professeur à L'UMMTO	Examineur
Mme. HAMRANI Fatima	Docteure chercheuse à LGM, ENP d'Alger	Invitée

2025-2026

Avant-propos

Au terme de ce travail, il nous est particulièrement agréable d'exprimer notre profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce mémoire.

Nous adressons tout d'abord nos sincères remerciements à nos enseignants de l'université, pour la qualité de leur enseignement, leur disponibilité et les connaissances précieuses qu'ils nous ont transmises tout au long de notre parcours académique.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à notre encadreur, Monsieur Hamis, pour son accompagnement, ses conseils avisés, sa patience et son soutien constant qui ont été d'une grande importance dans la réalisation de ce travail.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer ce mémoire ainsi que pour l'intérêt qu'ils portent à notre travail.

Nous tenons à remercier vivement les responsables et le personnel de l'Entreprise Nationale des Granulats – unité pouzzolane de Béni Saf, ainsi que les personnes de la carrière de pouzzolane à Aïn Témouchent, pour leur accueil, leur disponibilité et leur aide précieuse lors de la phase d'échantillonnage.

Nous exprimons également notre gratitude aux ingénieurs du laboratoire géologique de notre département, pour leur assistance technique, leurs conseils et leur disponibilité.

Enfin, nous adressons nos remerciements à toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Merci

HADJ HAMOU Yasmine
SID' EL EMINE Mohamed

Dédicace

À Dieu,

Source infinie d'amour, de lumière et d'espérance, qui guide mes pas dans l'ombre comme dans la clarté, et qui, par Sa grâce, m'a donné la force d'avancer, de persévérer et de ne jamais perdre foi.

À mes très chers parents,

Pour votre amour inconditionnel, vos sacrifices silencieux et votre soutien de chaque instant.

Vous êtes mon refuge, ma force et la plus belle bénédiction de ma vie.

À mes frères et sœurs,

Pour votre présence, votre affection et ces liens précieux qui m'ont toujours porté(e) dans les moments difficiles comme dans les moments de joie.

À ma grande sœur et à ses enfants,

Pour leur douceur, leur bienveillance et ces instants de bonheur qui ont illuminé mon parcours.

À toute ma famille,

Pour leur soutien, leurs prières et leur confiance qui m'ont accompagné(e) tout au long de ce chemin.

À la mémoire de ma grand-mère, de mes grands-pères et de mon oncle,

Partis trop tôt mais jamais oubliés.

Leur amour, leurs valeurs et leur souvenir demeurent vivants en moi, comme une lumière qui ne s'éteint jamais.

Que la paix et la miséricorde leur soient accordées dans la demeure éternelle.

À mes chers amis, Merci pour votre présence fidèle, vos éclats de rire, vos encouragements et votre complicité à chaque étape de ce parcours. Votre amitié a été un véritable moteur dans les moments de fatigue, un rayon de soleil dans les journées les plus chargées.

Et bien sûr, sans oublié mon cher **binôme SID' ELEMINE Mohamed** que j'ai beaucoup apprécié durant cette période.

Je dédie ce travail avec amour, foi et profonde gratitude.

HADJ HAMOU Yasmine

Dédicace

À Dieu,

Le Tout-Puissant, Source de toute lumière et de toute sagesse. Je Te rends grâce pour m'avoir insufflé la force, la patience et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce modeste travail. Que Ta protection et Ta miséricorde continuent de guider chacun de mes pas.

À mes chers parents,

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'immensité de l'amour et de la gratitude que je vous porte. Merci pour vos sacrifices sans fin, vos prières nocturnes et votre soutien infailible. Vous êtes mes piliers, ma fierté et mon plus bel exemple de courage. Que Dieu vous garde et vous accorde une longue et heureuse vie.

À mon pays, la Mauritanie,

Ma terre natale, celle qui m'a vu grandir et dont je porte les valeurs avec fierté par-delà les frontières. Tu es ma racine et mon identité.

À l'Algérie, mon deuxième pays,

Cette terre généreuse qui m'a accueilli à bras ouverts. Merci pour l'hospitalité, la fraternité et les opportunités que j'y ai trouvées. Tu resteras à jamais gravée dans mon cœur comme une **seconde patrie**.

À mes frères et sœurs,

Pour votre affection, vos encouragements et la joie que vous apportez au quotidien. Ce succès est aussi le vôtre.

À ma binôme, HADJ HAMOU Yasmine,

En témoignage de mon amitié et de mon profond respect. Je te remercie pour ton sérieux, ton esprit de collaboration et ta gentillesse. Ce fut un réel plaisir de partager ce parcours avec toi.

À mes chers amis du département,

Pour tous ces moments de labeur, de solidarité et d'éclats de rire partagés au cours de ces années universitaires. Merci pour votre présence fidèle.

Je dédie ce travail avec une immense gratitude et une profonde reconnaissance.

SID' ELEMINE Mohamed

Résumé

Ce mémoire porte sur l'étude géologique et géotechnique du gisement de pouzzolane de la région de Béni Saf.

Le contexte géologique régional est marqué par un volcanisme explosif du Plio-Quaternaire, lié à l'activité tectonique du littoral oranais. La pouzzolane est une roche volcanique légère et vacuolaire, principalement composée de scories basaltiques, utilisée majoritairement dans l'industrie du ciment pour ses propriétés hydrauliques.

Les formations géologiques du secteur d'étude comprennent des projections de nature basaltique et des coulées de lave, caractéristiques des complexes volcaniques de la zone de Bouhamidi. L'étude a permis d'identifier l'origine de ce matériau à partir du refroidissement rapide de magmas riches en gaz, créant une structure alvéolaire spécifique.

Le gisement se présente sous forme d'accumulations de projections pyroclastiques (scories et cendres) dont la porosité est très élevée. La localisation et l'extension du gisement sont étroitement liées aux anciens centres d'émissions volcaniques de la région.

Les observations de terrain et les analyses en lames minces ont permis de définir une texture vitreuse et microlytique. Les essais géotechniques (Los Angeles et Micro-Deval) révèlent un matériau mécaniquement fragile, tandis que l'analyse par spectroscopie infrarouge (FTIR) et l'observation au microscope électronique à balayage (MEB) confirment son fort potentiel de réactivité chimique. La mesure de la masse volumique vrac ($1,25 \text{ Mg/m}^3$) souligne une structure aérée, validant ainsi l'intérêt de cette ressource pour des applications industrielles et de construction.

Abstract

This dissertation focuses on the geological and geotechnical characterization of the pozzolan deposit in the Beni Saf region.

The regional geological context is marked by explosive volcanism from the Plio-Quaternary period, linked to the tectonic activity of the Oranian coastline. Pozzolan is a light, vesicular volcanic rock, primarily composed of basaltic scoria, and is mainly used in the cement industry for its hydraulic properties.

The geological formations of the study area include basaltic projections and lava flows, characteristic of the volcanic complexes in the Bouhamidi zone. The study identified the origin of this material from the rapid cooling of gas-rich magmas, creating a specific alveolar structure.

The deposit occurs as accumulations of pyroclastic projections (scoria and ash) with very high porosity. The location and extent of the deposit are closely linked to the ancient volcanic emission centers in the region.

Field observations and thin-section analysis allowed for the definition of a vitreous and microlithic texture. Geotechnical tests (Los Angeles and Micro-Deval) reveal a mechanically fragile material, while Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR) and scanning electron microscopy (SEM) observations confirm its strong potential for chemical reactivity. The measurement of the bulk density (1.25 Mg/m^3) highlights an aerated structure, thus validating the value of this resource for industrial and construction applications.

Table des matières

Table des matières

Avant-propos

Résumé

Abstract

Table des matières

Table des matières

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Chapitre I : Généralités.....	1
I -Introduction Générale.....	1
1- Situation géographique.....	2
2-Géomorphologie et morphogenèse volcanique.....	3
3-Analyse bioclimatique et dynamique végétale.....	3
4- Le but du travail.....	3
5-Méthodologie.....	4
5.1. Travail de terrain et échantillonnage.....	4
5.2. Analyses aux laboratoires.....	4
5.3. Synthèse bibliographique.....	5
6-Historique des travaux de l'indice de la pouzzolane de la région de Béni Saf.....	5
Chapitre II : Géologie régionale.....	6
1-INTRODUCTION.....	6
2-Nord de l'Algérie – Chaîne alpine.....	6
2-1-Cadre géologique et géodynamique des Maghrébides.....	7
2-2-Domains internes (Zones internes).....	7
2-3-La Dorsale kabyle.....	7
2-4-Domaine des flyschs.....	7
2-5-Zones externes.....	8
2-6-Contexte général de la chaîne alpine du Nord de l'Algérie.....	8
2-7-Grandes étapes géodynamiques.....	9
2-8-Organisation structurale.....	9

2-9-Chaîne des Maghrébides en Algérie	10
2-10-Évolution post-orogénique et magmatisme	10
3-L'oranie (volcanisme de l'ouest d'algerie).....	10
3-1- Cadre Géodynamique et Moteurs Structuraux	10
3-2-Segmentation et Analyse des Complexes Volcaniques.....	11
3-3- Dynamismes Éruptifs : De l'Effusion au Phréatomagmatisme.....	12
3-4- Pétrogenèse et Caractérisation Géochimique	12
3-5- Architecture Interne et Structuration des Coulées.....	12
Conclusion	13
Chapitre III : géologie locale	14
1-Introduction	14
2-Contexte géologique de Béni Saf	14
2-1-Le socle paléozoïque et les formations mésozoïques.....	15
2-2-Les formations crétacées et cénozoïques	15
2-3-Tectonique alpine et structuration régionale	15
2-4-Volcanisme néogène et formation de la pouzzolane.....	15
2-5-Gisements ferrifères et minéralisations.....	15
2-6-Importance géologique et économique de la région	16
2-7-Lithostratigraphie.....	18
2-3- Tectonique.....	19
2-3-1. Tectogenèse hercynienne	19
2-3-2. Tectogenèse alpine	19
2-4-Conclusion.....	19
3-Etude Géologique du Secteur d'étude	20
3-1-Introduction	20
3-2-Situation de la carrière.....	20
3-3-La Litostratigraphie du carrière.....	21
3-3-1-Discription macroscopique	21
3-3-2-Description microscopique	28
3-3-3-la microscopie électronique à balayage (MEB)	39
3-3-4-Analyse FTIR de la pouzzolane.....	47
Conclusion	51

Chapitre IV : Exploitation.....	52
1-Introduction	52
2-Présentation sur la pouzzolane	52
3-Domaine d'utilisation de la pouzzolane	54
4-Le Processus Opérationnel de Production de la Pouzzolane	54
4-1-L'Extraction Mécanique	54
4-2- Le Roulage	55
4-3-Le Traitement	55
4-4-Le Pesage et l'Expédition	56
5-Conclusion	57
Chapitre V : les essais géotechniques	58
1-Les essais géotechniques	58
1-1-Introduction	58
1-2- Essai Micro-Deval	58
1-3- Essai Los Angeles.....	60
1-4-Conclusion.....	61
2-Essais Réalisés au laboratoire du carrière Bouhamidi.....	62
2-1-Introduction	62
2-2-Étude de la Masse Volumique Vrac (Norme NF EN 1097-3).....	62
2-3-Conclusion.....	63
Conclusion Générale.....	64
Bibliographie.....	65
Les Annexes	67
1-Les annexes du MEB.....	67
2-Les annexes du les activités minéralogiques réalisé au carrière Bouhamidi	213

Liste des abréviations

Organismes et Institutions

- **UMMTO** : Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.
- **ENG** : Entreprise Nationale des Granulats.
- **LGEA** : Laboratoire de Génie Civil et Environnement (Université de Tizi Ouzou).
- **CRD** : Centre de Recherche et Développement (Sonatrach).

Géologie et Minéralogie

- **AlKaPeCa** : Acronyme désignant les blocs de l'Alboran, de la Kabylie, du Péloritain et de la Calabre (micro-continent d'affinité européenne).
- **LPA** : Lumière Polarisée Analyisée (technique utilisée pour l'observation au microscope).
- **LPNA** : Lumière Polarisée Non Analyisée.
- **FTIR** : *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier).
- **MEB** : Microscopie Électronique à Balayage.
- **DRX** : Diffraction des Rayons X (mentionné par analogie dans votre exemple de kaolin).

Géotechnique et Matériaux

- **LA** : Coefficient Los Angeles (mesure de la résistance aux chocs et à la fragmentation).
- **MDE** : Micro-Deval (mesure de la résistance à l'usure par frottement).
- **MVV** : Masse Volumique Vrac.
- **ASTM** : *American Society for Testing and Materials* (référence aux normes internationales de test).

Orientations et Unités

- **E-W** : Est-Ouest.
- **NE-SW** : Nord-Est - Sud-Ouest.
- **NNE-SSW** : Nord-Nord-Est - Sud-Sud-Ouest.
- **RN** : Route Nationale (ex: RN 22, RN 35).
- **Mg/m³** : Mégagramme par mètre cube (unité de masse volumique).

Liste des figures

Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude.....	2
Figure 2 : Carte géologique de l'Algérie (D. Belhaj, 1996).....	6
Figure 3 : Coupe Nord-Sud montrant les principales unités structurales de l'Algérie (Dessin de H. Haddoum, modifié).....	8
Figure 4 : Schéma structural des Chaînes alpines de la Méditerranée occidentale (d'après Chalouan)	9
Figure 5 : Répartition des laves de l'Oranie Nord Occidental. (A. Louni-hacini, 2002).	11
Figure 6 : carte géologique de Beni saf	15
Figure 7 : Log stratigraphique de la région de Béni Saf, (P. Guardia et M. Chabi, 1995).....	17
Figure 8 : carrière de pouzzolane de Béni Saf	20
Figure 9 : schéma de localisation La carrière de pouzzolane de Bouhamidi	21
Figure 10 : basalte	22
Figure 11 : basalte	23
Figure 12 : Basalte colmaté par la calcite.....	24
Figure 13 : pouzzolane noire	25
Figure 14 : pouzzolane grise	26
Figure 15 : tuf volcanique.....	27
Figure 16 : volcano-sédimentaire.....	27
Figure 17 : tronçonneuse diamantée	28
Figure 18 : plaques porte-objets standards	29
Figure 19 : Rôleuse.....	29
Figure 20 : la colle	30
Figure 21 : presse de collage	30
Figure 22 : scie de précision	31
Figure 23 : Polissage Final sur Miroir	31
Figure 24 : Images du microscope optique polarisant de marque Motic (a) et d'un objectif à grossissement 4x/0,1(b).....	32
Figure 25 : Basalte en LPA et LPNA.....	34
Figure 26 : Basalte colmaté par la Calcite en LPA et LPNA.....	35
Figure 27 : Pouzzolane Noire en LPA et LPNA	36
Figure 28 : Pouzzolane Grise en LPA et LPNA.....	37
Figure 29 : Tuf Volcanique	38
Figure 30 : Volcano-Sédimentaire en LPA et LPNA.....	39
Figure 31 : image photographier de l'emplacement des lames mince sur le MEB	40
Figure 32 : image photographie de l'appareil MEB.....	40
Figure 33 : Images du Basalte B2 (Zone 1) montrant 11 spots d'analyses (a) ; (Zone 2) : 15 spots (b) ; (Zone 3) : 14 spots d'analyses (c) et la (Zone 4) avec 12 spots (d)	41

Figure 34 : Images du pouzzolane N (Zone 1) montrant 13 spots d'analyses (a) ; (Zone 2) : 13 spots (b) ; (Zone 3) : 11 spots d'analyses (c) ; (Zone 4) : 6 spots d'analyses (d) avec et la (Zone 5) avec 16 spots (d) d'analyses	44
Figure 35 : Images du volcano-sédimentaire (F) (Zone 1) montrant 16 spots d'analyses (a) ; (Zone 2) : 14 spots (b) ; (Zone 3) : 14 spots d'analyses (c)	45
Figure 36 : appareil de FTIR.....	48
Figure 37 : spectre de l'analyse FTIR de la pouzzolane	48
Figure 38 : Spectre FTIR de la pouzzolane (Absorbance)	49
Figure 39 : la pouzzolane.....	54
Figure 40 : Extraction par une pelle hydraulique	55
Figure 41 : roulage par camions de type « dumper »	55
Figure 42 : image du traitement (a) et stockage (b) de la pouzzolane.....	56
Figure 43 : Photographie montrant le pont-basculé	56
Figure 44 : image montre le poids des bulles en fer utiliser(a) et l'appareil micro dévale (b) ..	60
Figure 45 : appareil de los Anglos	61

Lite des tableaux

Tableau 1 : la répartition du minéraux dans le Basalte.....	41
Tableau 2 : Synthétique et Évolution des Trois Zones.....	46
Tableau 3 : Paramètres expérimentaux	47
Tableau 4 : l'attribution des principales bandes d'absorption identifiées dans le spectre FTIR de la pouzzolane, comparées aux domaines de référence des matériaux aluminosilicatés. ..	49
Tableau 5 : Indicateurs de réactivité pouzzolanique.....	50
Tableau 6 : Comparaison avec la norme ASTM C618.....	50

A decorative border resembling a scroll, with a vertical strip on the left and a horizontal strip at the top, both ending in rounded, curled ends.

Chapitre I :

Généralités

Chapitre I : Généralités

I -Introduction Générale

Le secteur des matériaux de construction et de l'industrie du ciment repose de plus en plus sur la valorisation des ressources minérales naturelles aux propriétés physico-chimiques spécifiques. Parmi ces ressources, la pouzzolane, une roche volcanique alvéolaire issue d'un magmatisme explosif, occupe une place stratégique en raison de sa réactivité hydraulique et de sa légèreté.

L'Algérie Nord-occidentale, et plus précisément la région Oranaise, constitue un segment majeur de la chaîne des Maghrébides. Cette zone se distingue par une architecture complexe de nappes de charriage alpines superposées à un socle hercynien, particulièrement visible dans le massif des Traras. La spécificité de cette région réside dans son activité volcanique plio-quaternaire intense, liée à une extension crustale post-collisionnelle.

La région de Béni Saf, ancrée au cœur de ce dispositif géodynamique, offre un terrain d'étude privilégié. Son patrimoine géologique, marqué par des coulées basaltiques et des dépôts pyroclastiques, témoigne d'une activité explosive récente. Les gisements de pouzzolane qui en découlent représentent aujourd'hui une ressource minérale de premier plan pour l'économie régionale.

C'est dans ce cadre, alliant recherche académique et enjeux industriels, que s'inscrit notre travail de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master en Géologie Appliquée (Ressources minérales, Géomatériaux et environnement). Notre étude s'est focalisée sur l'exploitation et la caractérisation du matériau au niveau de la carrière de pouzzolane de Béni Saf.

L'objectif principal de ce mémoire est de répondre à la thématique suivante : « Étude géologique, gîtologique et géotechnique de la pouzzolane de la région de Béni Saf ». Il s'agit non seulement de comprendre la genèse de ce dépôt, mais aussi d'évaluer ses propriétés techniques via des travaux de terrain et des analyses en laboratoire au sein de l'université.

Pour mener à bien cette étude, notre rapport est structuré en cinq chapitres complémentaires :

- Chapitre 1 : Généralités. Une présentation des concepts fondamentaux liés à la pouzzolane et aux contextes volcaniques.
- Chapitre 2 : Aperçu sur la géologie régionale. Une analyse du cadre structural et stratigraphique du domaine Oranien.
- Chapitre 3 : Géologie locale. Une étude détaillée de la zone de Béni Saf et de ses formations volcaniques.
- Chapitre 4 : L'exploitation de la pouzzolane. Une description des méthodes d'extraction et du contexte industriel de la carrière.
- Chapitre 5 : Essais géotechniques. Une synthèse des résultats expérimentaux obtenus en laboratoire pour caractériser les performances du matériau.

1- Situation géographique

La zone d'étude se situe dans la ville côtière de Béni Saf, chef-lieu de daïra rattaché à la wilaya d'Aïn Témouchent, dans le Nord-Ouest algérien. Géographiquement, elle s'inscrit sur le littoral de la mer Méditerranée, à environ 90 km au sud-ouest d'Oran, occupant une position charnière entre les plaines littorales et les contreforts septentrionaux du massif des Traras. Cette localisation est stratégique d'un point de vue géologique, car elle se trouve au cœur du complexe volcanique plio-quaternaire de l'Oranie, où la proximité des infrastructures portuaires et routières (RN 22 et RN 35) facilite l'acheminement de la pouzzolane extraite vers les grands pôles industriels de la région. (Figure 1)



Figure 1 : Situation géographique de la région d'étude

Béni Saf s'érige en un pôle côtier névralgique de l'Oranie nord-occidentale, occupant une position charnière entre le bassin de la Tafna et le littoral méditerranéen. Géographiquement, la région est circonscrite par des accidents tectoniques majeurs qui ont façonné une façade maritime escarpée. Son importance dépasse le cadre administratif de la wilaya d'Aïn Témouchent pour s'inscrire comme un point de rupture géomorphologique où l'activité anthropique (industries extractives de fer et de pouzzolane) s'est historiquement adaptée aux Contraintes d'un relief accidenté et d'une géologie de transition entre le domaine tellien et l'avant-pays atlasique.

2-Géomorphologie et morphogenèse volcanique

La géomorphologie de Béni Saf est le produit d'une interaction complexe entre l'eustatisme (variations du niveau marin) et un volcanisme néogène polyphasé. Le paysage se décline en plusieurs unités morfo-structurales :

- **Le complexe de terrasses et de falaises vives** : Le trait de côte est dominé par une morphologie de type "côte à falaises", où l'érosion marine a dégagé des escarpements verticaux au sein des formations basaltiques et des tufs consolidés. Ces reliefs sont le témoin d'un soulèvement tectonique quaternaire, matérialisé par des terrasses marines étagées.
- **L'édification pyroclastique** : La région se distingue par une topographie de "plateaux tabulaires" et de cônes stromboliens égueulés. Le dynamisme éruptif a généré d'épaisses séquences de **tephras** et de **pouzzolanes** (scories vésiculées), dont la structure interne est aujourd'hui mise à nu par les fronts de taille des carrières de l'ENG.
- **Encaissement hydrographique** : Le réseau de drainage, à caractère torrentiel, a incisé des vallées en "V" particulièrement profondes dans les matériaux meubles du complexe volcanique. Ce processus d'incision verticale favorise une instabilité des versants, typique des zones de roches volcaniques fragmentaires.

3-Analyse bioclimatique et dynamique végétale

Le secteur de Béni Saf appartient à un climat semi-aride supérieur à influence maritime, ce qui atténue les températures extrêmes et maintient une certaine humidité malgré une pluviométrie irrégulière et un déficit hydrique estival.

La végétation est fortement contrôlée par les sols volcaniques pauvres et peu développés, dominés par des formations de matorral thermophile composées notamment de *Pistacia lentiscus*, *Olea europaea sylvestris* et *Chamaerops humilis*, adaptées aux conditions sèches et salines.

Sur les substrats de pouzzolane, la forte porosité favorise une végétation pionnière de type garrigue xérophile et halophile, limitant l'installation de formations forestières denses et traduisant une forte adaptation écologique au milieu.

4- Le but du travail

L'objectif central de ce travail est de réaliser une caractérisation multicritère de la pouzzolane de la région de Béni Saf, en établissant une corrélation directe entre son origine volcanique et ses aptitudes techniques. À travers une approche géologique sur le terrain et une phase expérimentale en laboratoire, notre démarche vise à préciser la géométrie du gisement et la nature des projections pyroclastiques, tout en évaluant rigoureusement les propriétés physico-mécaniques intrinsèques à ce géomatériau alvéolaire. In fine, cette étude ambitionne de confirmer la conformité de ces scories basaltiques avec les exigences normatives de l'industrie

du ciment et du génie civil, permettant ainsi de justifier une exploitation rationnelle et durable de cette ressource naturelle au sein du domaine Oranien.

5-Méthodologie

La démarche méthodologique adoptée pour cette étude s'articule autour de trois phases complémentaires, allant de l'acquisition des données sur site à la caractérisation physico-mécanique et pétrographique en laboratoire.

5.1. Travail de terrain et échantillonnage

La phase de terrain, pivot de notre étude, a été réalisée en **une seule journée** au niveau de la carrière de l'**Entreprise Nationale des Granulats (ENG)**, au sein de l'**unité pouzzolane de Béni Saf**. Cette sortie intensive a permis de :

- **Reconnaissance géologique** : Observer l'organisation structurale des dépôts pyroclastiques sur les fronts de taille de la carrière.
- **Échantillonnage stratégique** : Prélever des échantillons représentatifs des différentes variétés de pouzzolanes rencontrées.
- **Mesures structurales** : Relever les paramètres de terrain (directions, inclinaisons) et documenter l'étude par des photographies et des schémas de coupes.

5.2. Analyses aux laboratoires

Les échantillons collectés ont fait l'objet d'une double caractérisation (pétrographique et géotechnique) répartie sur deux structures de recherche :

- **Étude pétrographique (Macro et Micro)** : Cette étape a été entièrement réalisée au laboratoire du département des sciences géologiques de l'**UMMTO**.
 - Elle a débuté par une **description macroscopique** rigoureuse des échantillons pour identifier les faciès à l'œil nu.
 - Par la suite, **six (06) lames minces** ont été confectionnées au sein du même laboratoire. L'étude microscopique de ces lames a permis de réaliser une **Description microscopique** détaillée, essentielle pour analyser la texture du verre volcanique et la minéralogie de l'encaissant.
- **Essais géotechniques et analyses minéralogiques** :

Une série d'analyses expérimentales a été réalisée afin de caractériser les propriétés physiques, mécaniques et minéralogiques de la pouzzolane étudiée. Les essais géotechniques Micro-Deval et Los Angeles, destinés à évaluer la résistance du matériau à l'usure et à la fragmentation, ont été effectués au laboratoire du département Génie Civil (LGEA) de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Les analyses par microscopie électronique à balayage (MEB) ont été réalisées au sein du centre de recherche et développement de Sonatrach (CRD), afin d'étudier la microstructure et la morphologie des échantillons. Les analyses par spectroscopie infrarouge

ont été menées au laboratoire de chimie de l'Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou.

Par ailleurs, les essais minéralogiques ainsi que la détermination de la masse volumique ont été réalisés au niveau de l'entreprise ENG, dans la région de Béni Saf.

5.3. Synthèse bibliographique

En amont et en aval des travaux pratiques, une recherche bibliographique approfondie a été menée. Elle a consisté à rassembler et analyser les documents scientifiques (thèses, mémoires de master, articles) relatifs au volcanisme de l'Oranie et à la géologie structurale du nord de l'Algérie. Cette phase a également exploité des ressources techniques telles que les cartes géologiques et géotectoniques obtenues auprès des bibliothèques universitaires (UMMTO) et de l'ENG.

6-Historique des travaux de l'indice de la pouzzolane de la région de Béni Saf

En 1952, Jean Savornin réalise des travaux fondamentaux sur la géologie de l'Ouest algérien, incluant la région de Béni Saf, en mettant en évidence la structure générale et l'organisation des formations volcaniques et sédimentaires.

En 1973, Louis Glangeaud approfondit l'étude du volcanisme tertiaire dans l'Ouest algérien, en s'intéressant particulièrement aux manifestations volcaniques de Béni Saf et de ses environs, et à leur contexte géodynamique.

En 1990, Aïssa Benali étudie les formations volcaniques et pyroclastiques de la région de Béni Saf, en mettant l'accent sur leur pétrographie, leur composition minéralogique et leur intérêt économique, notamment pour les matériaux pouzzolaniques.

En 2005, Khaled Bensalah s'intéresse à la caractérisation géochimique et à la valorisation industrielle des dépôts volcaniques de Béni Saf, en lien avec leur utilisation dans le domaine des matériaux de construction.

Ces travaux successifs ont permis de mieux comprendre l'évolution géologique, le contexte volcanique et le potentiel économique de la région de Béni Saf, notamment en ce qui concerne les ressources en pouzzolanes et autres matériaux volcaniques.



Chapitre II :
Géologie
régionale

Chapitre II : Géologie régionale

1-INTRODUCTION

L'Algérie se divise en trois grands ensembles géologiques. Le Nord (domaine tellien) est une zone très active avec des nappes, des massifs anciens et des bassins récents parfois volcaniques. Le centre (domaine atlasique) est une zone de transition marquée par des plis et des déformations. Le Sud (domaine saharien) est une région stable constituée d'une plateforme ancienne et du la chaîne de l'Ougarta, la dorsale Réguibat et du bouclier Touareg.

Ainsi, le territoire algérien montre un contraste entre une partie nord mobile et un sud rigide et stable. (Figure 2)

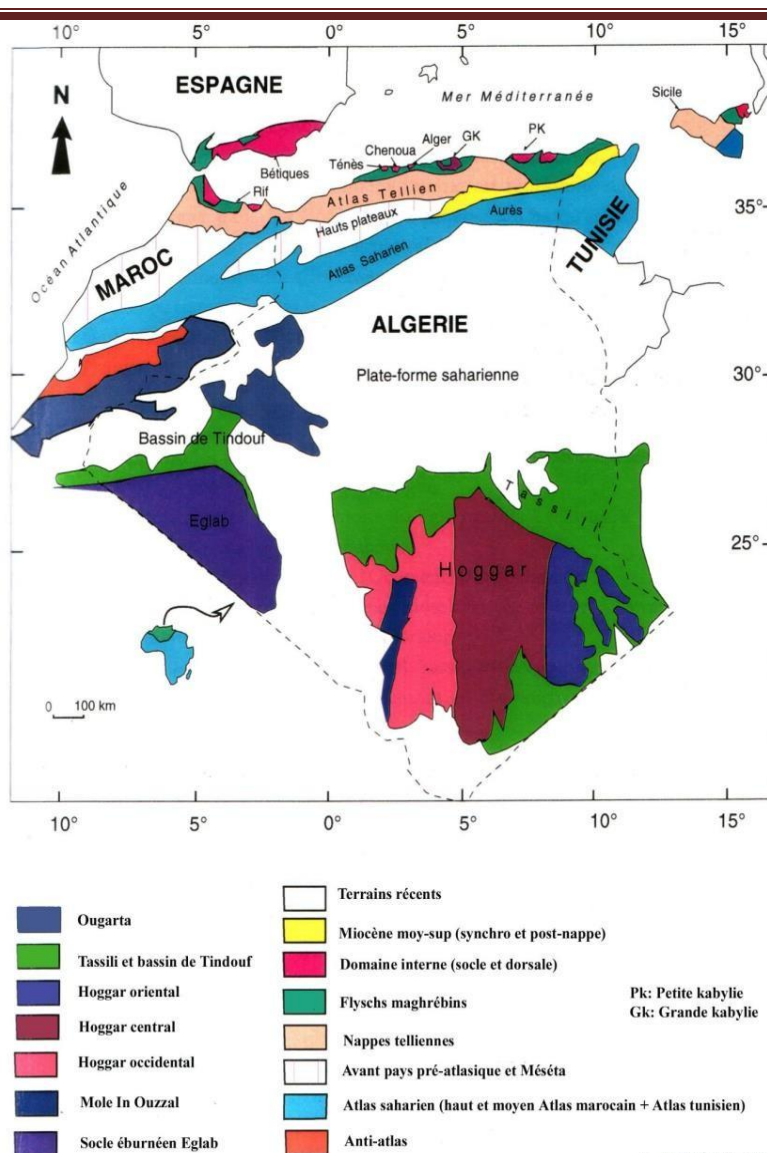


Figure 2 : Carte géologique de l'Algérie (D. Belhai, 1996)

2-Nord de l'Algérie – Chaîne alpine

L'édifice orogénique nord-africain, ou chaîne des Maghrébides, constitue un segment majeur du système alpin péri-méditerranéen, résultant de la convergence Afrique–Eurasie depuis le Crétacé supérieur (Durand-Delga, 1969 ; Wildi, 1983). Cette chaîne, d'orientation E-W, s'étend sur plus de 2000 km et s'inscrit dans la continuité des chaînes méditerranéennes occidentales (Bouillin, 1986). Son architecture est marquée par une forte zonation entre domaines internes (micro-continent d'affinité européenne, bloc AlKaPeCa) et domaines externes correspondant à la marge africaine déformée (Guiraud et Maurin, 1992). L'ensemble résulte d'une tectonique compressive polyphasée ayant conduit à la formation de nappes de charriage et à une structuration allochtone complexe (Durand-Delga, 1980 ; Vila, 1980).

2-1-Cadre géologique et géodynamique des Maghrébides

Le Nord algérien appartient au segment central des Maghrébides, structuré par la fermeture progressive de la Téthys maghrébine. L'organisation générale repose sur une polarité Nord–Sud distinguant :

- Les domaines internes (Kabylies et socle cristallin),
- Les domaines des flyschs,
- Et les domaines externes telliens.

Cette structuration traduit une évolution tectonique marquée par la convergence, la subduction et la collision continentale.

2-2-Domains internes (Zones internes)

Les zones internes correspondent aux massifs kabyles (Grande et Petite Kabylie), constitués du bloc AlKaPeCa. Il s'agit de fragments continentaux d'affinité européenne, formés de roches métamorphiques (gneiss, micaschistes, amphibolites) issues d'une évolution polycyclique ancienne.

Ces unités sont surmontées par la Dorsale kabyle, série sédimentaire mésozoïque fortement tectonisée, traduisant l'histoire de la marge téthysienne. L'ensemble constitue le noyau interne de la chaîne, déplacé vers le sud lors de l'orogénèse alpine.

2-3-La Dorsale kabyle

La Dorsale kabyle représente une unité structurale calcaire subdivisée en trois ensembles :

- **Dorsale interne** : plateforme littorale avec séries carbonatées et lacunes stratigraphiques importantes.
- **Dorsale médiane** : unité la plus développée, caractérisée par des dépôts marno-calcaires profonds et une forte déformation tectonique.

Chapitre II : Géologie régionale

- **Dorsale externe** : domaine distal à faciès détritiques et lacunaires, transition vers les zones externes.

Elle reflète l'évolution d'une marge passive téthysienne intensément déformée lors de la collision alpine.

2-4-Domaine des flyschs

Le domaine des flyschs correspond à d'anciens bassins océaniques remplis de dépôts turbiditiques, aujourd'hui charriés vers le sud. Il s'étend de l'Oranie à la Tunisie.

On distingue trois ensembles principaux :

- **Flyschs maurétaniens** : dépôts calcaires et siliceux profonds avec alternances turbiditiques et conglomératiques.
- **Flyschs massyliens** : séries plus siliceuses et distales, dominées par des alternances pélito-quartzitiques.
- **Flyschs numidiens** : épais ensembles gréseux oligocènes à aquitaniens, fortement allochtones.

Ces unités traduisent l'évolution puis la fermeture progressive de l'océan téthysien.

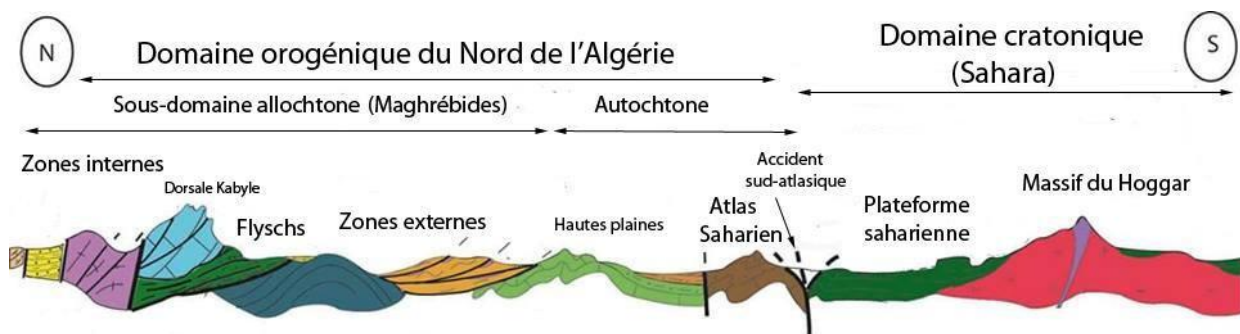


Figure 3 : Coupe Nord-Sud montrant les principales unités structurales de l'Algérie (Dessin de H. Haddoum, modifié) (2002).

2-5-Zones externes

Les zones externes correspondent à la marge africaine déformée :

- **Zone ultra-tellienne** : faciès marno-calcaires profonds avec transition vers les flyschs.
- **Zone tellienne** : domaine de nappes (Épi-, Méso- et Infra-tellien) marqué par des plis et chevauchements importants.
- **Zone péri-tellienne** : domaine le plus stable, à faciès peu profond et déformation limitée, servant d'avant-pays.

2-6-Contexte général de la chaîne alpine du Nord de l'Algérie

La chaîne alpine nord-algérienne résulte de la convergence Afrique-Europe et de la fermeture de la Téthys. Elle est structurée en domaines imbriqués (internes, flyschs, externes)

Chapitre II : Géologie régionale

séparés par des unités de charriage. Cette organisation traduit une évolution géodynamique complexe depuis l'extension initiale jusqu'à la collision continentale.

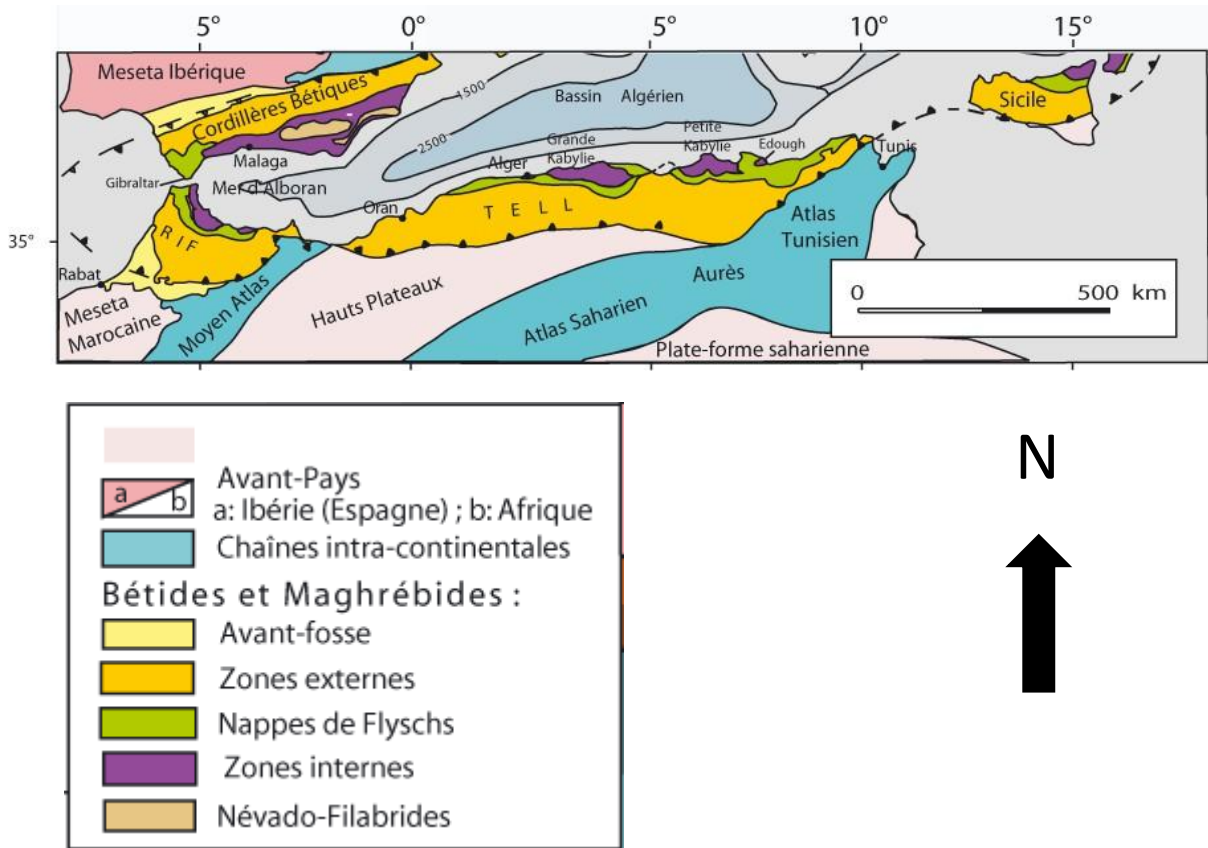


Figure 4 : Schéma structural des Chaînes alpines de la Méditerranée occidentale (d'après Chalouan) (2001)

2-7-Grandes étapes géodynamiques

Rifting (Trias – Lias)

Phase d'extension liée à l'ouverture de la Téthys, caractérisée par des bassins, failles normales, volcanisme et dépôts évaporitiques.

Post-rifting (Jurassique – Crétacé supérieur)

Période de sédimentation marine avec alternance détritique et carbonatée, suivie de phases anoxiques favorisant les roches-mères hydrocarburées.

Inversion tectonique (Tertiaire – Actuel)

Phase compressive alpine responsable des plis, chevauchements et nappes de charriage.

2-8-Organisation structurale

Du sud vers le nord :

- Système atlasique,

- Avant-fosse sud-tellienne,
- Domaine tellien externe,
- Domaine des flyschs,
- Domaine interne kabyle.

2-9-Chaîne des Maghrébides en Algérie

La chaîne résulte de la collision entre le microcontinent AlKaPeCa et la marge africaine. Elle est marquée par la fermeture du bassin des flyschs, le charriage des unités internes et la structuration finale de la chaîne tellienne.

2-10-Évolution post-orogénique et magmatisme

Après la collision, la chaîne entre en phase post-orogénique avec formation de bassins d'effondrement (Mitidja, Cheliff, Soummam, Constantine), remplis de sédiments miocènes à quaternaires.

Un magmatisme calco-alkalin miocène apparaît dans un contexte de subduction résiduelle, suivi d'un magmatisme alcalin à partir du Tortonien–Quaternaire lié à une dynamique mantellique profonde. Ces activités volcaniques sont contrôlées par les grandes structures tectoniques régionales.

3-L'oranie (volcanisme de l'ouest d'Algérie)

Le volcanisme de l'Oranie nord-occidentale constitue l'une des provinces magmatiques les plus emblématiques et les plus vastes de la Méditerranée occidentale. S'étendant sur une superficie colossale d'environ **1 000 km²**, ce district structure une frange littorale d'environ 20 km de large sur près de 100 km de long, depuis la frontière marocaine jusqu'aux abords de Mostaganem. Ce complexe, dont l'activité s'étire du Miocène au Quaternaire, représente un laboratoire naturel unique pour l'étude des processus de relaxation thermique et de distension lithosphérique post-orogénique au sein du domaine tellien algérien (**Durand-Delga, 1969 ; Louni-Hacini et al., 1995**).

3-1- Cadre Géodynamique et Moteurs Structuraux

La genèse du volcanisme oranais ne résulte pas d'un point chaud statique, mais s'inscrit dans un contexte de néotectonique post-collisionnelle. Après la phase de compression alpine et la fermeture de la Téthys, la région a amorcé une phase de réajustement isostatique conjuguée à une extension crustale.

- **Contrôle par la fracturation profonde :** La mise en place des centres d'émission est rigoureusement dictée par la réactivation de grands accidents crustaux hérités du cycle hercynien et alpin. On observe une organisation spatiale selon des linéaments majeurs, principalement orientés **NE-SW** (direction atlasique) et **NNE-SSW**.
- **Le rôle du Djebel Fillaoucène :** Ce massif illustre parfaitement ce contrôle structural : les édifices volcaniques y sont alignés le long de couloirs de fracturation profonds qui

ont servi de drains préférentiels pour les magmas ascendants issus de l'asthénosphère (Vila, 1980).

3-2-Segmentation et Analyse des Complexes Volcaniques

On dénombre environ 60 centres d'émission organisés en cinq districts géographiques et géologiques distincts, témoignant d'une activité **diachrone** (échelonnée dans le temps) :

1. **Le Massif d'Aïn Témouchent** : C'est le pôle le plus prolifique au Plio-Quaternaire. Il se caractérise par une densité exceptionnelle de cônes stromboliens et une production pyroclastique massive, formant de véritables champs de cendres.
2. **La Basse Tafna** : Ce secteur est le siège d'une complexité pétrographique paroxystique. On y observe une série complète allant des basanites massives aux termes les plus évolués (**phonotéphrites**), ainsi que des structures hydromagmatiques complexes dues à la proximité de paléo-aquifères (Moustière, 1974).
3. **Le Flanc Sud du Djebel Fillaoucène** : Ici, le volcanisme vient napper les structures plissées antérieures. Les laves (basaltes et trachy-basaltes) soulignent une discordance majeure entre le cycle alpin et le cycle volcanique récent.
4. **Les M'sirda et le Massif des Souhalia** : Situés à l'extrémité occidentale, ces massifs présentent des laves alcalines particulièrement riches en phénocristaux d'olivine et de pyroxène, suggérant un séjour limité dans les chambres magmatiques.
5. **La Rive Gauche de l'Oued Tafna** : Ce secteur conserve les témoins précieux du volcanisme miocène (plus ancien), dont certains centres d'émission étaient positionnés en mer, à proximité immédiate du rivage actuel.

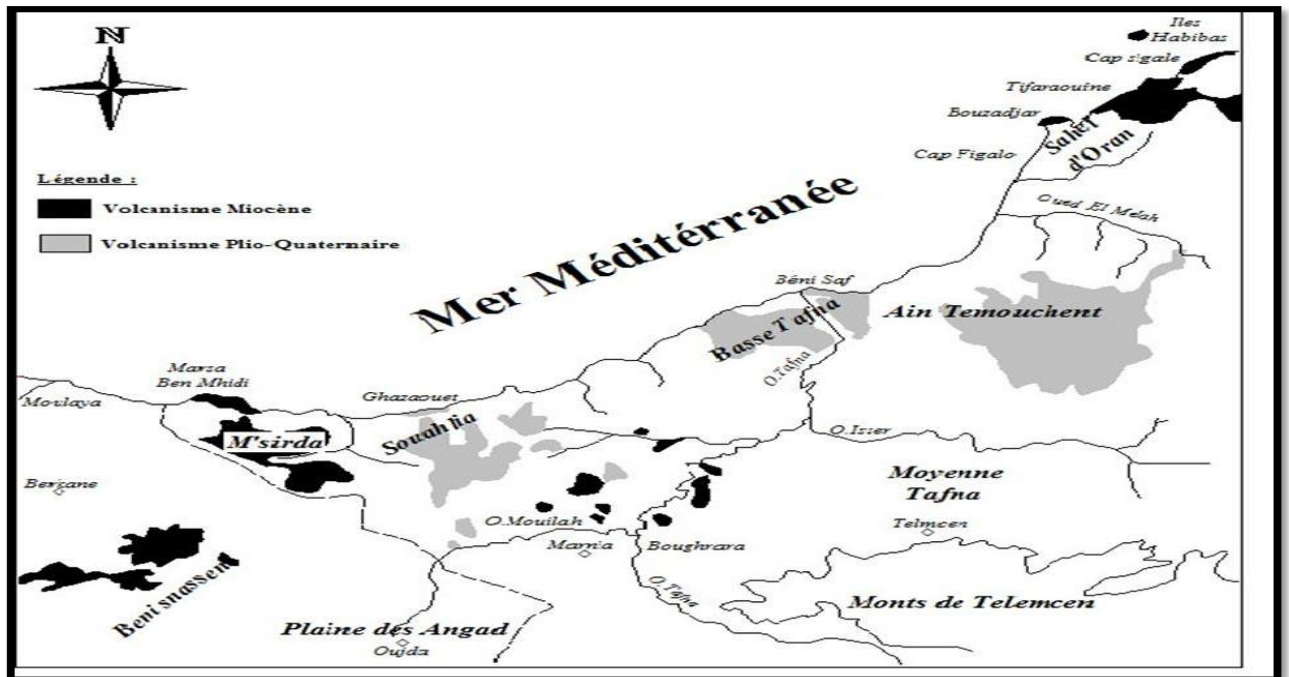


Figure 5 : Répartition des laves de l'Oranie Nord Occidentale. (A. Louni-hacini, 2002).

3-3- Dynamismes Éruptifs : De l'Effusion au Phréatomagmatisme

L'Oranie offre un catalogue morphologique complet des styles éruptifs continentaux, résultant de l'interaction entre le magma et l'environnement (**Kadik, 2000**) :

- **Le Dynamisme Strombolien** : Prédominant, il est responsable de l'édification de **cônes de scories (cinder cones)** symétriques. Ces édifices sont bâtis par l'accumulation de bombes fusiformes, de lapillis vésiculés et de projections scoriacées.
- **Le Dynamisme Phréatomagmatique** : Il survient lors de la rencontre brutale du magma avec des eaux souterraines ou de surface. Ce processus explosif a généré des **maars** (dépressions d'explosion comme celles de Sidi Ben Adda ou Ben Ghana) et des **anneaux de tufs (tuff-rings)** kilométriques aux dépôts finement stratifiés par des **déferlantes basales (base-surges)** (**Belhai et al., 2013**).
- **Le Dynamisme Effusif** : Responsable de vastes champs de laves, il a produit des coulées massives pouvant dépasser 15 à 20 mètres d'épaisseur (ex : Tadmaya).

3-4- Pétrogenèse et Caractérisation Géochimique

Cristallisation fractionnée au sein de réservoirs cristaux ont permis une évolution continue des magmas (**Coulon, 1986**) :

- **Laves Primaires** : Picro-basaltes et basanites, marquant le premier stade de fusion partielle du manteau.
- **Séquence de Différenciation** : Basaltes alcalins → Hawaïites → Trachy-basaltes → Tephrites.
- **Termes Ultimes** : Phonotéphrites et phonolites (faciès rares marquant un stade d'évolution très avancé).
- **Signature de la Source** : Les analyses des terres rares montrent un parallélisme des spectres pour les laves plio-quatérnaires, prouvant leur **co-génitisme**. L'anomalie positive en **Niobium (Nb)** et les rapports Nb/La et Nb/Th pointent vers un **diapir asthénosphérique intracontinental** issu d'un manteau enrichi (**Louni-Hacini et al., 1995**).

3-5- Architecture Interne et Structuration des Coulées

L'examen des fronts de taille des coulées oranaises révèle une stratification thermique et mécanique rigoureuse, essentielle pour comprendre le refroidissement des laves :

1. **La Semelle scoriacée** : Base bréchifiée par le frottement au sol lors de la mise en place.
2. **La Colonnade basaltique** : Cœur de la coulée où le refroidissement lent a permis la formation d'orgues basaltiques hexagonales par rétraction thermique.
3. **L'Entablement** : Partie supérieure présentant des prismes plus petits et irréguliers, souvent surmontée d'une croûte bulleuse et scoriacée.

Conclusion

Le Nord de l'Algérie représente un segment clé de la chaîne alpine des Maghrébides. Son architecture résulte d'une évolution géodynamique complète allant du rifting téthysien à la collision Afrique–Europe, suivie d'une phase post-orogénique caractérisée par la subsidence et le magmatisme. Cette histoire complexe explique la structuration actuelle en domaines imbriqués et nappes de charriage.



Chapitre III : **géologie locale**

Chapitre III : géologie locale

1-Introduction

La carrière de pouzzolane de Béni Saf, exploitée par Entreprise Nationale des Granulats, est située dans la wilaya d'Aïn Témouchent, au nord-ouest de l'Algérie, à proximité immédiate du littoral méditerranéen et à environ 70 km à l'ouest d'Oran. Cette région occupe une position stratégique sur la côte méditerranéenne et possède une importance économique et historique notable, notamment grâce à son port et à l'exploitation ancienne de ses gisements de fer (Durand-Delga, 1969 ; Vila, 1980).

Sur le plan géographique, la région se caractérise par un relief contrasté associant plaines littorales, collines et plateaux, reflétant la complexité de son substratum géologique (Aïfa et al., 1992). La carrière s'inscrit dans un contexte géodynamique complexe appartenant à l'avant-pays tellien occidental, marqué par l'interaction entre les domaines atlasique et tellien ainsi que par l'héritage tectono-magmatique lié à l'évolution néogène du bassin méditerranéen occidental (Durand-Delga, 1969 ; Hernandez & Bellon, 1985). Cette configuration géologique confère à la région un intérêt scientifique et économique majeur, notamment pour l'étude et la valorisation des formations volcaniques et pouzzolaniques.

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse structurée du cadre géologique de la région de Béni Saf, suivie de l'étude de la carrière de pouzzolane exploitée par Entreprise Nationale des Granulats.

La première partie traite de la géologie régionale à travers le socle paléozoïque et les formations mésozoïques, les séries crétacées et cénozoïques, la tectonique alpine ainsi que le volcanisme néogène à l'origine des formations pouzzolaniques.

La seconde partie est consacrée à la stratigraphie de la carrière, en abordant le contexte volcanique et la mise en place des dépôts, la dynamique éruptive responsable des produits pyroclastiques, ainsi que les transformations post-volcaniques et les processus de remaniement sédimentaire.

2-Contexte géologique de Béni Saf

Béni Saf appartient au domaine tellien oranais, une composante de la chaîne alpine d'Afrique du Nord issue de la convergence entre les plaques africaine et eurasiatique, responsable d'une structuration complexe marquée par des plissements, chevauchements, nappes de charriage et failles décrochantes (Wildi, 1983 ; Frizon de Lamotte et al., 2000). L'histoire géologique de la région s'étend sur une longue échelle de temps et se caractérise par une superposition polyphasée de formations.

La région de Béni Saf (secteur d'étude carrière de pouzzolane)

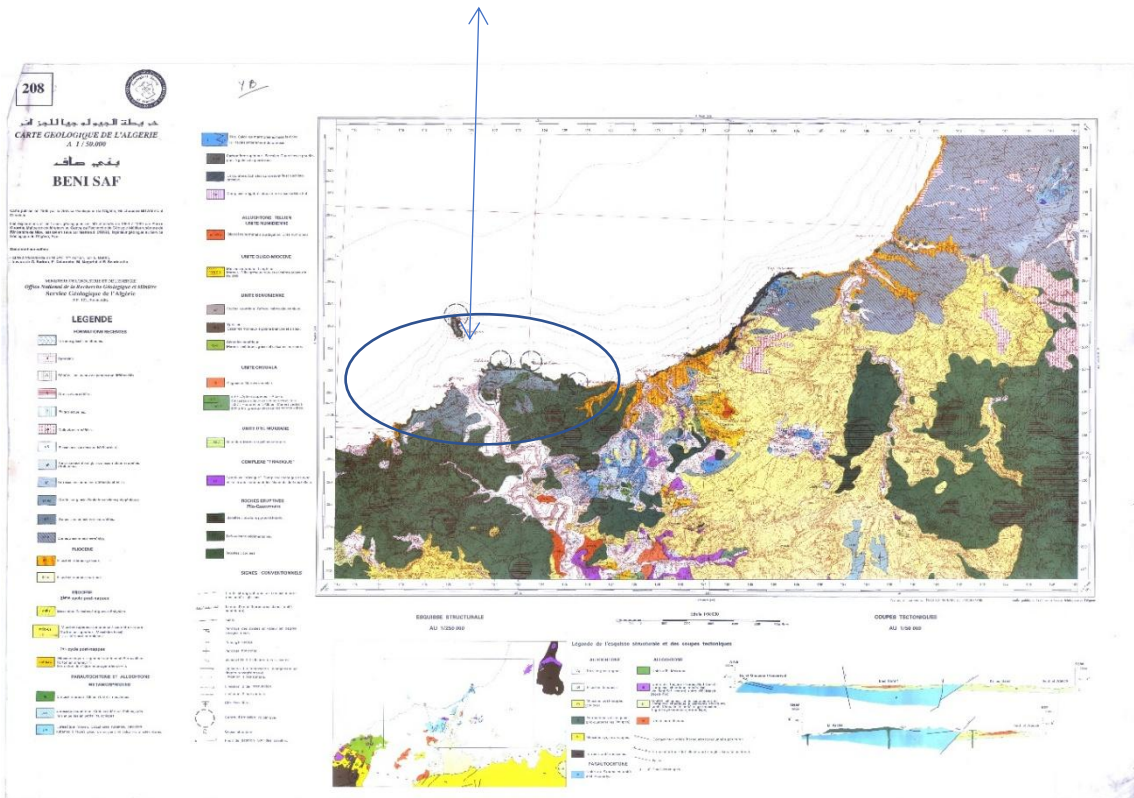


Figure 6 : carte géologique de Beni Saf GUARDIA P., RAOULT J.F., VIENNET R. (1975). *Carte Géologique de l'Algérie à 1/50 000, feuille n° 208 — Béni Saf*. Service Géologique de l'Algérie, Alger.

2-1-Le socle paléozoïque et les formations mésozoïques

Le socle paléozoïque, constitué de séricitoschistes quartzeux et chloriteux ainsi que de micaschistes graphiteux, témoigne d'un métamorphisme régional intense lié à la phase hercynienne, marquée par des plissements polyphasés et des failles anciennes (Caby et al., 1981 ; Piqué, 1994). Ce socle est recouvert par des formations mésozoïques variées : au Trias dominant argiles, marnes et gypse saccharoïde, tandis que le Jurassique inférieur présente des calcaires laminés ferrugineux souvent métamorphisés ; le Jurassique supérieur et le Crétacé inférieur sont constitués de schistes plissés avec lentilles carbonatées, annonçant une tectonique plus active (Vila, 1980 ; Guardia, 1975).

2-2-Les formations crétacées et cénozoïques

Le Crétacé est dominé par des flyschs composés d'argilites, de grès quartzeux et de calcaires ferrugineux, déposés en milieu marin profond (Durand-Delga, 1969). Au Cénozoïque, les dépôts deviennent discordants avec des poudingues et grès oligocènes, des formations miocènes et des grès littoraux pliocènes associés aux terrasses marines, traduisant une dynamique littorale active (Glangeaud, 1932 ; Aïfa et al., 1992). Le Quaternaire complète cette évolution avec des sables éoliens, alluvions et éboulis (Paskoff, 1970).

2-3-Tectonique alpine et structuration régionale

La tectonique alpine imprime fortement la région avec des plissements isoclinaux, une schistosité de fracture et des failles décrochantes orientées N100–N105, à l'origine de structures en horsts et grabens qui contrôlent la circulation des fluides et la mise en place des minéralisations (Frizon de Lamotte et al., 2000).

2-4-Volcanisme néogène et formation de la pouzzolane

À partir du Néogène, un volcanisme important se met en place, favorisé par ces structures tectoniques. Au Messinien apparaissent des laves calco-alcalines et shoshonitiques, tandis qu'au Plio-Quaternaire se développent des basaltes alcalins accompagnés de coulées, brèches pyroclastiques et corps subvolcaniques (Aïfa et al., 1992 ; Maury et al., 2000). Parmi ces produits, la pouzzolane, roche volcanique vacuolaire riche en silice et en alumine, se distingue par ses propriétés hydrauliques, expliquant son utilisation depuis l'Antiquité jusqu'à aujourd'hui (Massazza, 1998).

2-5-Gisements ferrifères et minéralisations

Sur le plan gîtologique, Béni Saf est également connue pour ses importants gisements de fer (Sidi Safi, Keloucha, Camerata, Bou-Hamidi), où les minéralisations présentent des textures variées témoignant de processus hydrothermaux complexes (Guilhaumou et al., 2001). La paragenèse associe oxydes et hydroxydes de fer, carbonates, silicates et sulfates, liés à des phénomènes de métasomatose et de circulation de fluides (Robb, 2005).

2-6-Importance géologique et économique de la région

Ainsi, Béni Saf constitue un véritable laboratoire naturel où se combinent tectonique alpine, sédimentation marine et volcanisme récent, conférant à la région une importance scientifique, économique et patrimoniale majeure.

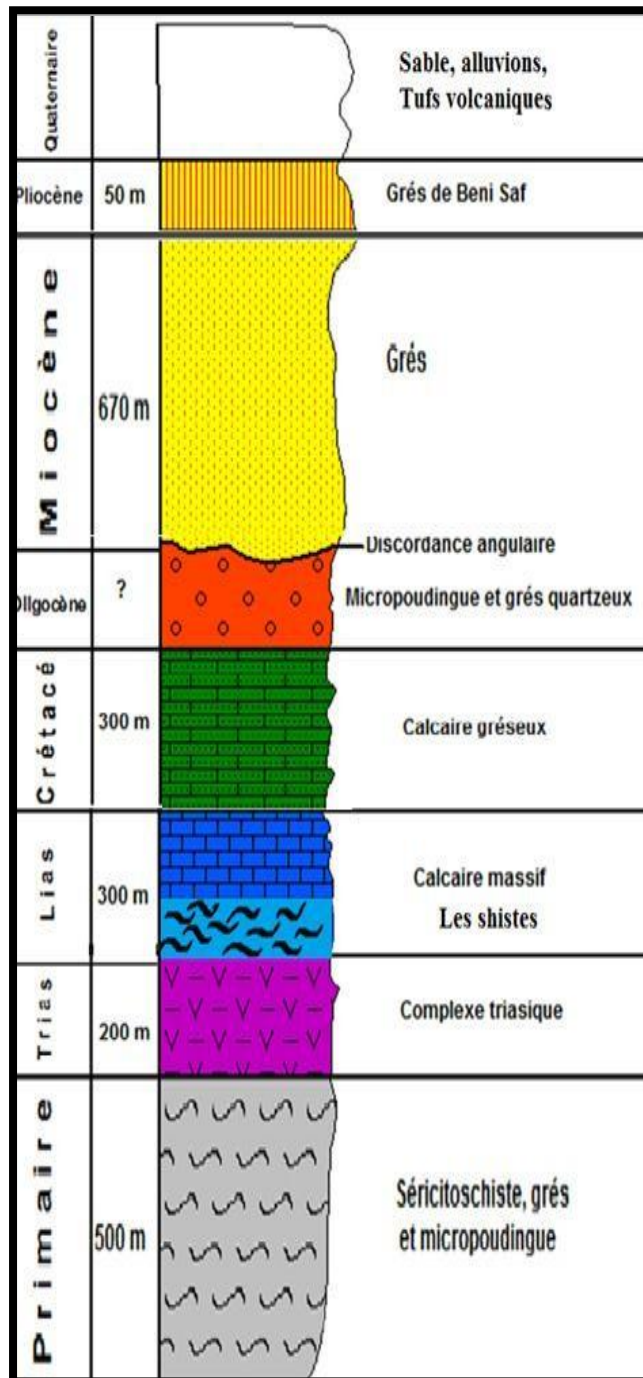


Figure 7 : Log stratigraphique de la région de Béni Saf, (P. Guardia et M. Chabi, 1995)

2-7-Lithostratigraphie

2-7-1. Le Paléozoïque

Le socle paléozoïque se divise en deux unités distinctes :

- **Assise inférieure** : Localisée le long du littoral (SE de Béni Saf et carrière de Ghar El Baroud), elle est constituée à sa base de séricitoschistes quartzeux et micaschistes graphiteux gris, avec des intercalations carbonatées, chloriteuses et argilitiques. Le sommet présente une alternance de grès, conglomérats et micro-poudingues associés à des schistes talqueux.
- **Assise supérieure** : Visible au Djebel Skouna, elle se compose de séricitoschistes chloriteux verdâtres et de bancs de grès, couronnés par des calcaires cristallisés.

2-7-2 Le Mésozoïque

Le passage entre le Paléozoïque et le Mésozoïque est généralement marqué par des contacts faillés, parfois soulignés par des roches kaolinitiques quartzeuses, témoins d'anciens sols d'altération fossilisés.

- **Le Trias** : Dominé par des argiles et marnes vertes, grises ou violacées. Il se caractérise par la présence de gypse sous diverses formes (saccharoïde, massif, paillettes ou bréchique).
- **Le Jurassique inférieur (Lias)** : Repose sur le Paléozoïque érodé. Il comprend des calcaires (francs ou dolomités) et des schistes, corrélés au massif du Fillaoussène.
- **Le Jurassique supérieur - Crétacé inférieur** : Ensemble composé de pélites, de grès fins et de schistes.
- **Le Crétacé** : Affleurant au SE de Béni Saf et dans les falaises littorales, il présente un faciès flysch typique (alternance d'argilites gris foncé, grès quartzeux, calcaires communs ou ferrugineux et marnes).

2-7-3. Le Cénozoïque

- **L'Oligocène** : Affleure localement (bassin de l'Oued Malah et SE de Maden-Srir). Il est constitué de micro-poudingues et de grès quartzeux mal classés, dont le ciment est parfois riche en hydroxydes de fer.
- **Le Miocène** : Présente une forte discordance angulaire sur le Paléozoïque et le Mésozoïque, principalement dans la partie Est et sur la côte.
- **Le Pliocène inférieur** : Représenté par les "Grès de Béni Saf" formant une terrasse marine littorale (blocs et galets à la base, suivis de grès jaunâtres et micro-poudingues).
- **Le Quaternaire** : Comprend des dépôts d'origines variées (éoliens, alluvions, éboulis, plages) ainsi que des formations volcaniques (produits pyroclastiques, tufs et coulées basaltiques).

2-3- Tectonique

Le Tell oranais résulte des phases tectoniques hercynienne et alpine (Cizak, 1993).

2-3-1. Tectogenèse hercynienne

Polyphasée, elle évolue d'un style souple vers un style cassant :

- **Tectonique souple** : Comprend une phase anté-viséenne (métamorphisme à biotite) et une phase post-viséenne (faciès schistes verts). Cette dernière montre un déversement vers le Sud (Traras, Fillaoussène, Sahel d'Oran).
- **Tectonique cassante** : Réseau de grandes fractures N20 et N50 attribué au post-Viséen supérieur.

2-3-2. Tectogenèse alpine

Elle se manifeste par :

- Un plissement isoclinal au Campanien supérieur (schistosité N60), responsable de la structure anticlinale de Madagh.
- Dans la zone atlasique, une phase souple créant des plis N60-90 (ex: anticlinal du Fillaoussène), ultérieurement découpés par une tectonique cassante (failles N20 et N50).
- Le jeu de ces accidents est à l'origine de la morphologie actuelle en horsts, grabens et décrochements.

2-4-Conclusion

La région de Béni Saf se révèle être un territoire d'une remarquable richesse géologique, résultant d'une longue et complexe évolution géodynamique polyphasée. Depuis le socle paléozoïque métamorphique jusqu'aux formations volcaniques quaternaires, en passant par les séries sédimentaires mésozoïques et cénozoïques, chaque étape de cette histoire géologique a contribué à façonner la configuration actuelle du sous-sol régional. La tectonique alpine, avec ses plissements, ses chevauchements et ses failles décrochantes, a joué un rôle structurant majeur, non seulement dans la mise en place des grandes unités lithologiques, mais également dans le contrôle des circulations de fluides et l'installation du volcanisme néogène à quaternaire.

C'est précisément ce volcanisme récent qui confère à la région son intérêt économique le plus immédiat. La mise en place des basaltes alcalins, des brèches pyroclastiques et des formations pouzzolaniques, directement liée aux structures tectoniques héritées, a engendré des gisements

De matériaux volcaniques d'une grande valeur industrielle. La carrière de pouzzolane exploitée par l'Entreprise Nationale des Granulats en constitue l'expression la plus concrète, illustrant parfaitement l'articulation entre processus géologiques profonds et valorisation économique contemporaine.

Ainsi, Béni Saf s'affirme comme un véritable laboratoire naturel, où se combinent tectonique alpine, sédimentation marine et volcanisme récent, offrant à la fois un cadre scientifique exceptionnel pour la recherche géologique et un patrimoine géologique stratégique pour le développement industriel de l'Algérie.

3-Etude Géologique du Secteur d'étude

3-1-Introduction

Dans le cadre de cette étude, une campagne d'échantillonnage a été réalisée in situ au niveau de la carrière de Bouhamidi, en ciblant différents faciès lithologiques représentatifs de la série volcano-sédimentaire. Les matériaux collectés, comprenant des basaltes massifs, des basaltes vacuolaires, des niveaux volcano-sédimentaires remaniés ainsi que divers produits pyroclastiques tels que les pouzzolanes noires, grises et les tufs volcaniques, témoignent de la complexité des processus géologiques ayant façonné la région. Afin de caractériser ces matériaux de manière rigoureuse et exhaustive, une approche multi-analytique a été adoptée, associant l'analyse macroscopique, la microscopie électronique à balayage (MEB) et la spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR). Cette démarche progressive, allant de l'échelle macroscopique à l'échelle moléculaire, vise à mettre en évidence les propriétés texturales, structurales et minéralogiques de chaque faciès, et à mieux comprendre les mécanismes de mise en place ainsi que le potentiel pouzzolanique des matériaux exploités.

3-2-Situation de la carrière

La carrière de pouzzolane de Bouhamidi est située à environ 2,5 km au sud de la ville de Béni-Saf, relevant de la wilaya d'Aïn Témouchent, dans la région nord-ouest de l'Algérie. Elle occupe un site volcanique naturel caractérisé par une colline conique dénommée El-Kalcol, dont le sommet culmine à 236 mètres d'altitude absolue. Cette position géographique, à proximité immédiate d'un centre urbain et dans une zone à potentiel géologique avéré, confère à ce gisement une importance particulière tant sur le plan de l'exploitation que de l'accessibilité. (Figure 8)



Figure 8 : carrière de pouzzolane de Béni Saf

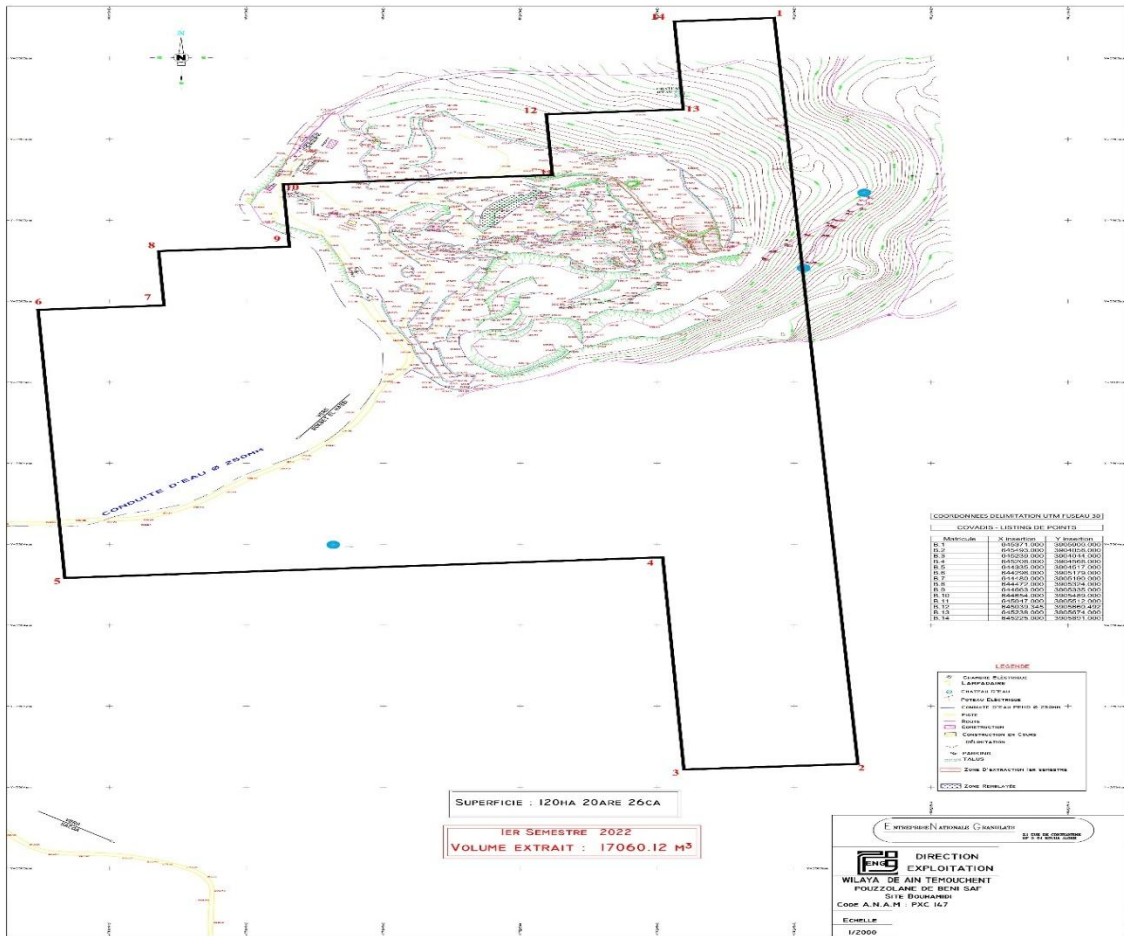


Figure 9 : schéma de localisation La carrière de pouzzolane de Bouhamidi (ENG 2022)

3-3-La Litostratigraphie du carrière

3-3-1-Description macroscopique

3-3-1-1-Les basaltes

Les basaltes de Béni Saf sont des roches volcaniques issues d'un magmatisme alcalin, formées par fusion partielle du manteau supérieur entre 50 et 150 km de profondeur, dans un contexte tectonique extensif post-orogénique. (Figure 10)

Sur le plan pétrographique, ils présentent trois types de textures :

- **Microlitique** — refroidissement rapide en surface
- **Porphyrique** — cristaux formés en profondeur (olivine, pyroxène, plagioclase) dans une pâte fine
- **Vacuolaire** — cavités dues aux gaz, parfois remplies de calcite ou zéolites (structures amygdalaires)

Morphologiquement, on observe des orgues basaltiques (prismation thermique), des coulées pāhoehoe (laves fluides) et des coulées 'ā'ā (laves plus visqueuses).

La période mio-plio-quaternaire (depuis ~23 Ma) correspond à une phase volcanique poly-phasée liée à la tectonique des plaques africaine et eurasiennne. Elle alterne :

- **Phases effusives** → coulées basaltiques et plateaux
- **Phases explosives** → cendres, lapilli, bombes et surtout **pouzzolanes**



Figure 10 : basalte

a-Basalte massif :

Le basalte présente une teinte gris clair à gris verdâtre, relativement homogène. Il montre une texture fine, de type microlithique, sans cristaux visibles à l'œil nu.

La structure est massive, avec une faible porosité apparente et absence de vésicules bien développées. La surface est rugueuse à légèrement altérée, avec quelques zones plus claires traduisant une modification superficielle.

Ces caractéristiques suggèrent un refroidissement relativement rapide d'une lave basaltique, limitant le développement de cristaux visibles.

L'absence de vacuoles indique un dégazage faible ou une mise en place dans des conditions où les gaz se sont échappés avant la solidification. Les zones plus claires traduisent une altération secondaire, probablement liée à des processus météoriques, (Figure 11).



Figure 11 : basalte massif de teinte grise à ambre

b-Basalte colmaté par calcite (F9)

L'échantillon correspond à un basalte à teinte gris foncé, localement altéré vers des nuances plus claires. Il présente une texture microlithique fine.

La roche montre une structure vacuolaire bien développée, caractérisée par de nombreuses cavités irrégulières d'origine magmatique. Ces vésicules sont partiellement à totalement remplies par une phase carbonatée secondaire, identifiable macroscopiquement comme de la calcite, se manifestant par une coloration blanche et un aspect cristallin à microcristallin.

Ces caractéristiques suggèrent un refroidissement rapide en contexte volcanique. Le remplissage des vésicules par la calcite traduit une circulation de fluides riches en CO₂ après la solidification du magma, conduisant à une précipitation minérale dans les cavités.

Cette configuration confère à la roche une texture amygdalaire typique, témoignant d'une évolution post-volcanique liée à des processus d'altération hydrothermale, (Figure 12).

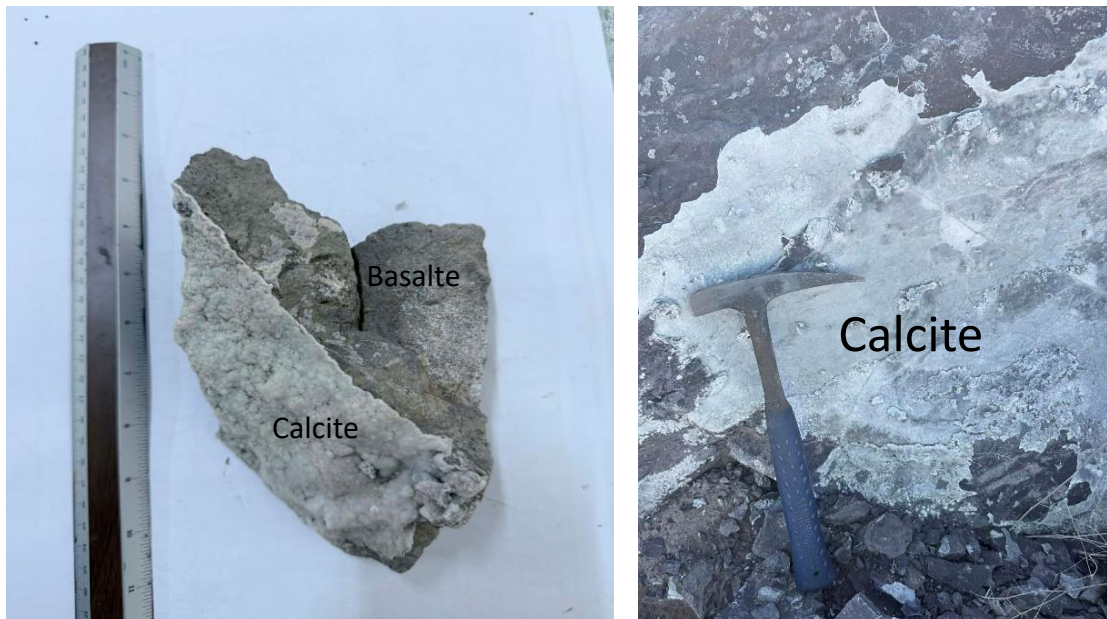


Figure 12 : Basaltes colmatés par de la calcite suivant les plans de fractures

3-3-1--2-Les pyroclastes

a-Les pouzzolanes

a-1-La pouzzolane noire

La roche pouzzolanique présente une teinte noire à gris sombre, avec localement des zones brunâtres à jaunâtres. Il se caractérise par une texture fortement vacuolaire (scoriacée), marquée par la présence de nombreuses cavités arrondies. Ces caractéristiques suggèrent un dégazage rapide du magma lors de sa mise en place. La matrice est fine, à dominante vitreuse indiquant un refroidissement rapide. L'échantillon est léger, très poreux, de forme irrégulière, avec une surface rugueuse, (Figure 13).

L'ensemble confirme une origine volcanique pyroclastique de composition basaltique. La forte porosité confère à cette roche des propriétés favorables pour des usages cimentaires.



Figure 13 : pouzzolane noire

a-2Pouzzolane grise (B4)

L'échantillon présente une teinte gris clair à gris verdâtre, globalement homogène. Il se caractérise par une texture très vacuolaire, avec une abondance de vésicules de taille millimétrique à centimétrique, majoritairement ouvertes et irrégulièrement distribuées.

La matrice est fine, de nature microlithique, renfermant de rares inclusions sombres dispersées. La roche montre une forte porosité ouverte, lui conférant une faible densité apparente. Aucun remplissage minéral des cavités n'est observé. La structure est massive mais fortement alvéolaire.

Ces caractéristiques suggèrent un dégazage important du magma lors de sa mise en place, à l'origine de la formation des nombreuses vésicules. L'absence de minéralisation secondaire indique que les cavités sont restées ouvertes, sans évolution vers une texture amygdalaire.

L'ensemble témoigne d'un refroidissement rapide en milieu subaérien, typique des produits volcaniques riches en gaz tels que les pouzzolanes, (Figure 14).



Figure 14 : photographie montrant des échantillons de la pouzolane grise

b-Tuf volcanique

Le tuf volcanique présente une teinte gris-beige à brunâtre, localement verdâtre. Il se caractérise par une texture pyroclastique fragmentaire, avec une granulométrie fine à moyenne et des éléments mal triés.

La structure est massive à vacuolaire, marquée par la présence de vésicules et de porosités intergranulaires. La matrice dominante englobe des fragments lithiques et du verre volcanique altéré, avec des contacts intergranulaires et une faible cimentation.

La teinte verdâtre suggère une altération secondaire de la roche. Le mauvais tri granulométrique indique un dépôt rapide et peu sélectif, typique des formations pyroclastiques.

La faible cimentation et les contacts intergranulaires traduisent une consolidation diagenétique modérée. L'ensemble confirme une origine volcanique explosive avec accumulation de fragments pyroclastiques, (Figure 15).



Figure 15 : tuf volcanique

3-3-1--3-La formation volcano-sédimentaire

Échantillon F : Roche volcano-sédimentaire

L'échantillon présente une teinte globalement claire, allant du gris au beige, avec une texture relativement homogène.

On observe la présence de fragments volcaniques fins dispersés au sein de la matrice. La granulométrie est fine et l'ensemble apparaît assez bien consolidé.

Ces caractéristiques suggèrent que la roche résulte du remaniement de matériaux volcaniques issus d'éruptions antérieures.

Leur dépôt et leur consolidation indiquent un environnement sédimentaire, traduisant un transport suivi d'une sédimentation avant la lithification (Figure 16).

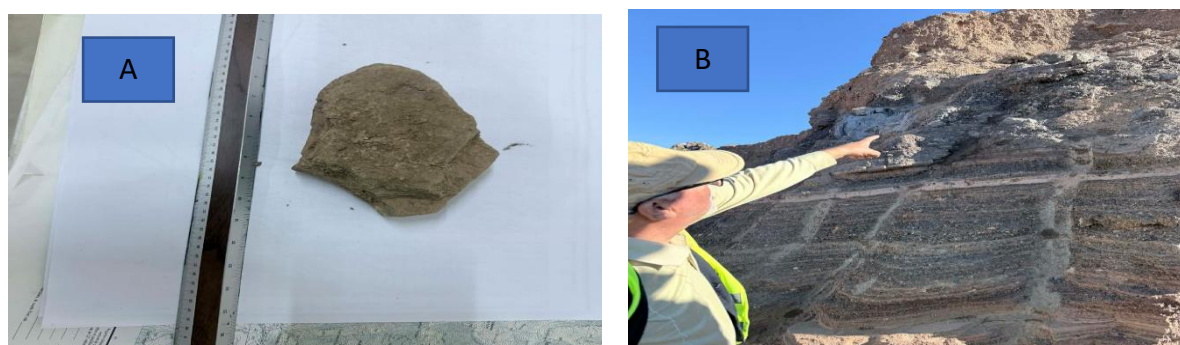


Figure 16 : volcano-sédimentaire en strate b et en échantillon a

3-3-2-Description microscopique

a-Introduction

Dans le cadre de notre étude pétrographique sur les complexes volcaniques, la confection de nos lames minces a suivi un protocole rigoureux de haute précision. Nos échantillons, caractérisés par une grande diversité (basaltes sains, basaltes colmatés par la calcite, pouzzolanes noires et grises, tufs volcano-sédimentaires), ont été transformés en préparations de **30 μm** . Cette épaisseur standard est l'unique moyen d'assurer la transparence des phases minérales et vitreuses pour une analyse fiable sous lumière polarisée.

b-Étape 1 : Débitage Primaire et Extraction des Échantillons

Notre travail a débuté par le découpage des gros blocs d'échantillons prélevés sur le terrain. À l'aide d'une tronçonneuse diamantée de grande capacité, nous avons extrait des portions maniables. L'objectif était de dégrossir la roche pour isoler les zones d'intérêt (comme les contacts entre le basalte et ses veines de calcite) (Figure 17).



Figure 17 : tronçonneuse diamantée

c-Étape 2 : Calibrage et Mesure des "Sucres"

Une fois les morceaux extraits, nous avons procédé au taillage précis de nos "sucres" de roche (Figure 18).

- **Mise aux normes** : Chaque sucre a été mesuré et recoupé pour correspondre exactement aux dimensions de nos plaques porte-objets standards.
- **Contrôle dimensionnel** : Ce calibrage est essentiel pour que l'échantillon s'adapte parfaitement aux supports des machines automatiques lors des étapes suivantes.



Figure 18 : plaques porte-objets standards

d-Étape 3 : Rodage du Sucre sur la Grande Rôdeuse (Pré-collage)

C'est ici que nous avons préparé la face de référence de la roche. Avant tout collage, le sucre doit être parfaitement plan et lisse (Figure 19).

- **Action** : Nous avons utilisé la **grande machine à roder** (plateau rotatif de grand diamètre).
- **Processus abrasif** : Le rodage a été effectué par l'application successive de poudres abrasives de granulométrie décroissante : **320, 600, puis 800**.
- **Résultat** : Cette étape a permis d'éliminer les stries de sciage et d'obtenir une surface "miroir" sur la roche, condition sine qua non pour un collage sans micro-vides, particulièrement critique pour les structures vésiculées de nos pouzzolanes.



Figure 19 : Rôdeuse

e-Étape 4 : Collage de Haute Précision sous Presse

Après nettoyage et séchage des sucres rodés, nous avons procédé au montage sur lame de verre (Figures 20-21).

- **Technique** : Nous avons utilisé une résine époxy à haut indice de réfraction.
- **Mise sous presse** : L'utilisation de la **presse de collage (type 1.04.02)** a permis d'appliquer une pression constante sur nos basaltes et tufs, garantissant un joint de colle ultra-mince et parfaitement horizontal.



Figure 20 : la colle



Figure 21 : presse de collage

f-Étape 5 : Arasement et Séparation du Surplus

Une fois la colle polymérisée, nous avons dû séparer la majeure partie du sucre de la lame pour ne laisser qu'une fine pellicule de roche solidarisée au verre (Figure 22).

- **Action** : À l'aide d'une scie de précision, nous avons coupé l'excédent de roche (le "talon").
- **État intermédiaire** : À ce stade, la lame porte une tranche de roche d'environ 0,5 mm à 1 mm d'épaisseur, encore opaque.



Figure 22 : scie de précision

i-Étape 6 : Amincissement et Polissage Final sur Miroir

La dernière phase de notre travail a consisté à atteindre l'épaisseur finale de 30 μm par un polissage manuel ou semi-automatique de précision (Figure 23).

- **Le support** : Nous avons utilisé des plaques de verre (miroirs de rodage) pour assurer une planéité parfaite.
- **Finition aux poudres** : L'amincissement a été finalisé en utilisant des poudres fines pour user la roche progressivement. Nous avons surveillé l'épaisseur au microscope jusqu'à l'apparition des teintes d'interférence gris-blanc du premier ordre.



Figure 23 : Polissage Final sur Miroir

j-Conclusion

Grâce à ce protocole incluant le rodage initial du sucre, nos lames minces de **basaltes**, **pouzzolanes** et **tufs** présentent une qualité optique supérieure. L'absence de relief entre la calcite et la matrice basaltique, ainsi que la préservation des structures fragiles des pouzzolanes, nous permettent désormais d'engager une analyse pétrographique exhaustive et précise.

la description microscopique(l'Analyse Pétrographique)

a-Introduction

L'étude microscopique a été conduite sur un corpus de lames minces représentatif de la diversité lithologique du site, incluant le **basalte (B2)**, le **basalte colmaté par la calcite (F9)**, les **pouzzolanes grises (B4) et noires (N)**, ainsi que les faciès clastiques tels que le **tuf volcanique (B3)** et la formation **volcanosédimentaire (F)**.

L'examen a été réalisé à l'aide d'un **microscope optique polarisant Motic** , équipé d'un objectif à grossissement **4×/0,1**(Figure 24). Ce dispositif permet une caractérisation précise des textures et de la distribution minéralogique en combinant l'observation en **lumière polarisée non analysée (LPNA)** et **analysée (LPA)**.

Les premières investigations révèlent des textures majoritairement **microlitiques à porphyriques**, typiques des dynamiques de refroidissement rapide des laves basaltiques. La matrice, fine et ponctuellement vitreuse, soutient des microlites de plagioclase aux orientations

Aléatoires. Cette étude met particulièrement en évidence l'importance des phases de dégazage, matérialisées par une **vacuolarité** intense dans les pouzzolanes, ainsi que les processus post-magmatiques de circulation de fluides ayant conduit au **colmatage carbonaté** des porosités originelles.



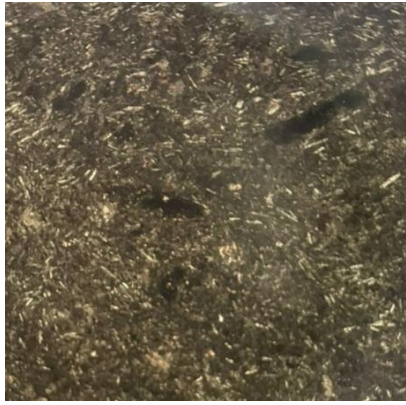
Figure 24 : Images du microscope optique polarisant de marque Motic (a) et d'un objectif à grossissement 4×/0,1(b)

b-1-Analyse Microscopique de la Lame B2 (Basalte)

L'examen de la lame **B2** (figure 25) révèle une roche à **texture microlitique monocristalline et vésiculée**, typique d'une mise en place effusive rapide.

En **Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA)**, l'échantillon expose un fond jaune-brun constitué de verre volcanique interstitiel et de micro-grains opaques (oxydes ferro-titanés), au sein duquel se dessinent des vacuoles sombres et allongées témoignant du dégazage de la lave.

En **Lumière Polarisée Analysée (LPA)**, la mésostase s'illumine d'une multitude de **microlites de plagioclase** (lattes aciculaires) affichant des teintes de gris-blanc du premier ordre. Entre ces lattes, des cristaux de **clinopyroxène** (augite) se distinguent par leur relief marqué et leurs biréfringences vives (bleu-vert du second ordre). L'ensemble traduit une cristallisation syn-éruptive synchrone avec le piégeage de la phase gazeuse.



B2LPNA



B2LPA

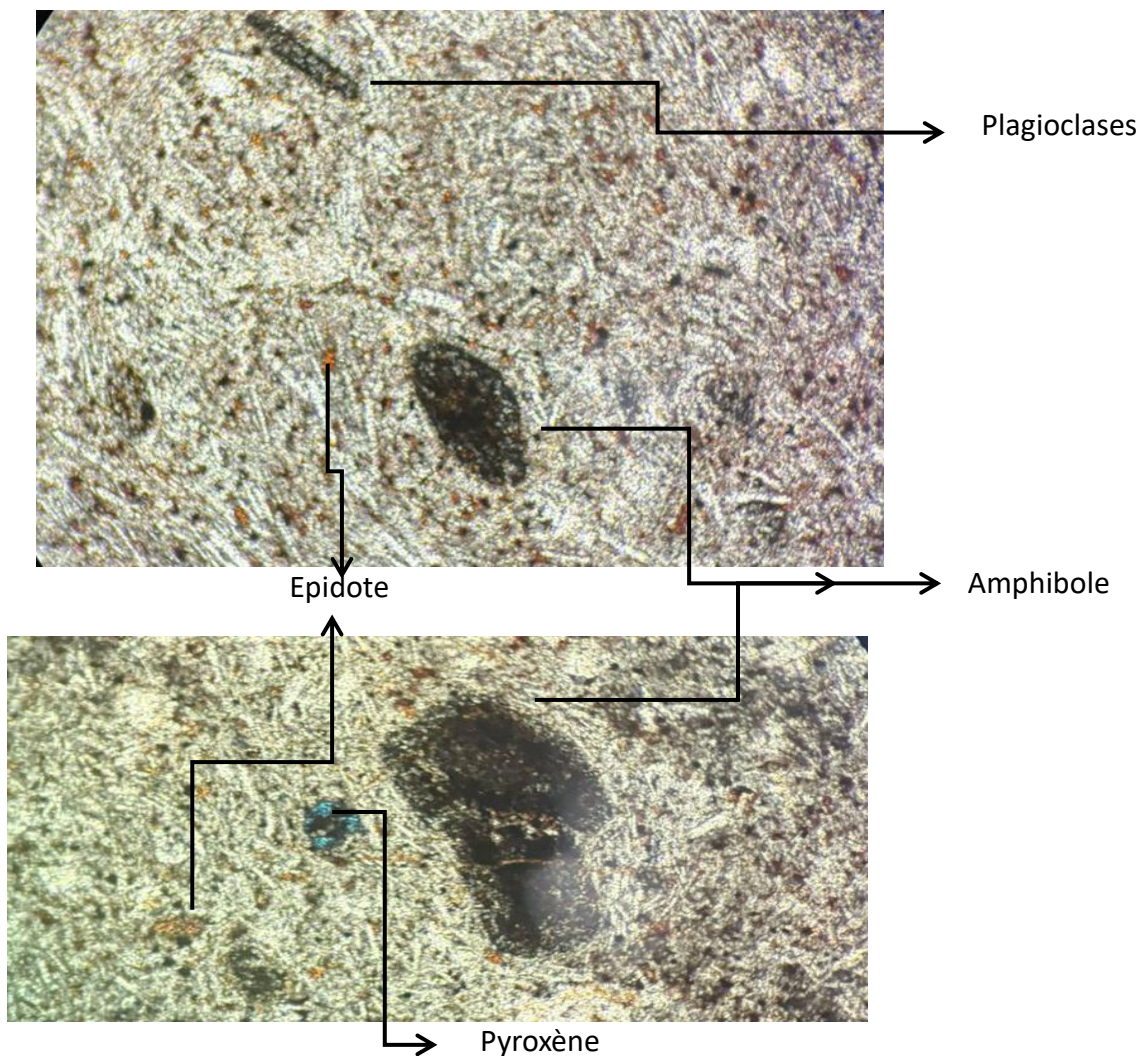


Figure 25 : Basalte en LPA et LPNA

b-2-Analyse Microscopique de la Lame F9 (Basalte à Calcite)

L'examen de la F9 (figure 26) met en évidence un **basalte amygdalaire** dont la porosité primaire a été intégralement remaniée par des processus de précipitation secondaire.

En **Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA)**, la roche se structure autour d'une mésostase basaltique sombre et opaque, riche en oxydes ferro-titanés, qui délimite de larges plages circulaires à sub-anguleuses. Ces cavités, initialement des vacuoles de dégazage, apparaissent ici limpides et incolores, occupées par des minéraux à relief variable présentant des traces de clivages rhomboédriques.

En **Lumière Polarisée Analysée (LPA)**, le contraste minéralogique s'accroît : les zones de remplissage s'illuminent de teintes d'interférence extrêmes et nacrées, caractéristiques de la **calcite** de colmatage. La cristallisation s'organise souvent de manière drusique, convergeant vers le centre des anciennes vacuoles, tandis que la matrice basaltique reste majoritairement éteinte ou ponctuée de rares micro-microlites de plagioclase. Cette organisation témoigne d'une phase hydrothermale tardive ayant fossilisé la texture vacuolaire originelle de la lave.



F9 LPNA



F9 LPA

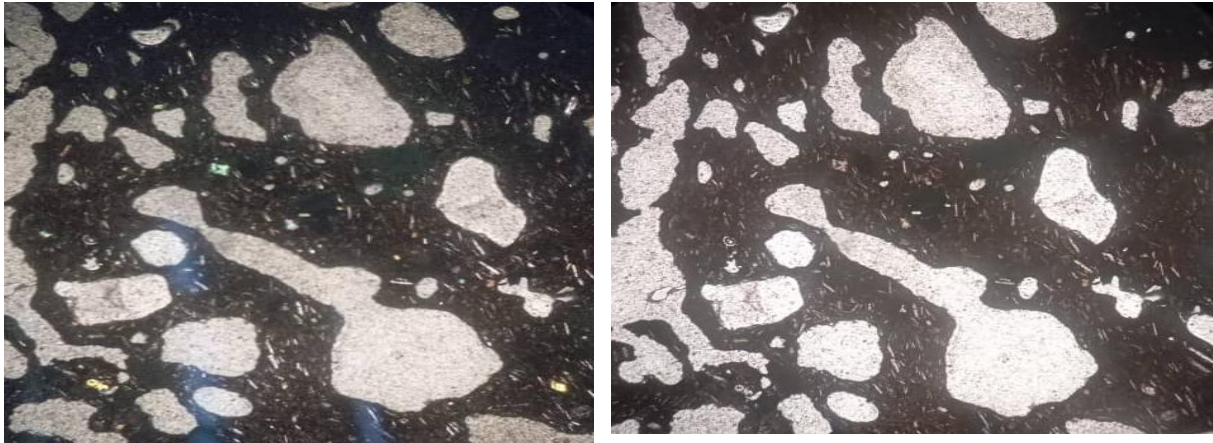
Figure 26 : Basalte colmaté par la Calcite en LPA et LPNA

c-1-Analyse Microscopique de la Pouzzolane Noire N

L'examen de N (figure 27) révèle une roche à **texture microlitique vitreuse et extrêmement vacuolaire**, typique des projections volcaniques de type scories.

En **Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA)**, la roche se distingue par une mésostase quasi opaque, de couleur brun très foncé à noir, due à l'abondance de verre volcanique saturé en micro-oxydes de fer. Cette matrice sombre est découpée par un réseau de **vacuoles géantes** et irrégulières, occupant une part prédominante du volume. Ces cavités sont claires et limpides, témoignant d'une porosité ouverte très élevée.

En **Lumière Polarisée Analyisée (LPA)**, la matrice vitreuse reste **isotrope** (extinction totale), confirmant un refroidissement brutal qui a empêché la cristallisation massive. On observe néanmoins de fins **microlites de plagioclase** (teintes gris-blanc) dispersés de manière aléatoire au sein du verre, ainsi que de rares micro-cristaux d'olivine ou de pyroxène. Contrairement à la pouzzolane grise, la teinte plus sombre de la mésostase en LPNA souligne une richesse plus importante en fer ou un état d'oxydation différent lors de l'éruption. La structure "en dentelle" du verre volcanique autour des bulles de gaz confirme son origine pyroclastique hautement vésiculée (Figure 28).



N LPNA

N LPA

Figure 27 : Pouzzolane Noire en LPA et LPNA

c-2-Analyse Microscopique de la Lame B4 (Pouzzolane Grise)

L'examen de la lame **B4 (figure 28)** révèle une roche pyroclastique à **texture vacuolaire (ou vésiculée) prédominante**, caractéristique d'un refroidissement très rapide accompagné d'un dégazage violent.

En **Lumière Polarisée Non Analyisée (LPNA)**, la lame présente une mésostase vitreuse très sombre, presque opaque par endroits, due à une forte concentration en micro-grains d'oxydes de fer. Cette matrice est criblée de **vacuoles** (anciennes bulles de gaz) de tailles et de formes très irrégulières. Ces cavités apparaissent claires et limpides, témoignant soit d'un vide résiduel, soit d'un remplissage partiel par une phase vitreuse plus claire ou des minéraux secondaires de faible relief.

En **Lumière Polarisée Analyisée (LPA)**, le caractère vitreux de la roche est confirmé par l'**isotropie** de la matrice qui reste noire. Les vacuoles s'illuminent faiblement selon leur contenu : certaines restent éteintes (vides), tandis que d'autres révèlent de minuscules microlites de plagioclases ou des produits de dévitrification à très faible biréfringence (teintes grisâtres). On peut également observer de rares micro-cristaux de pyroxènes ou d'olivines piégés dans les parois de verre. La structure globale en "éponge" confirme qu'il s'agit d'une **pouzzolane grise**, produit de l'accumulation de projections volcaniques hautement vésiculées.

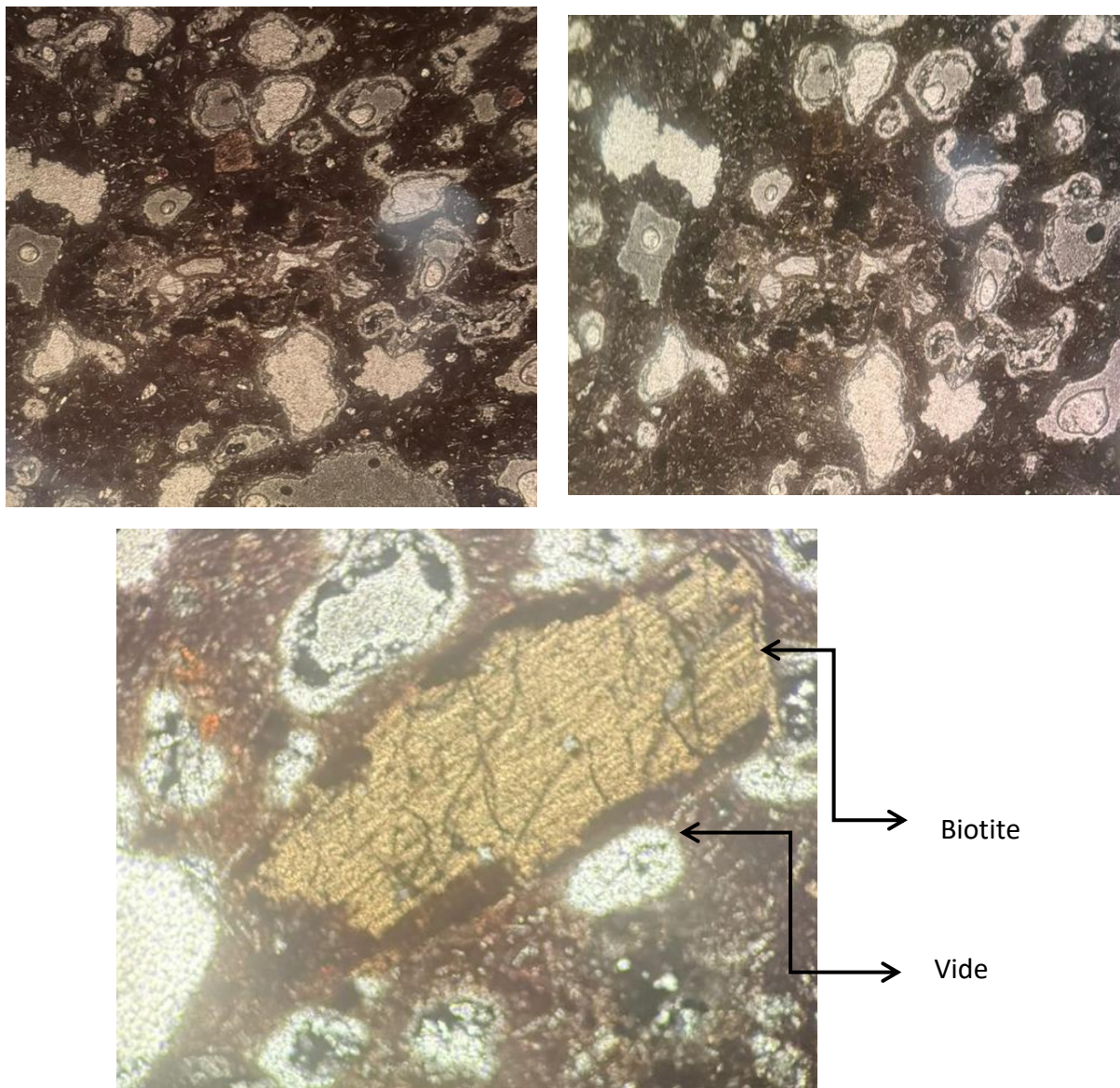


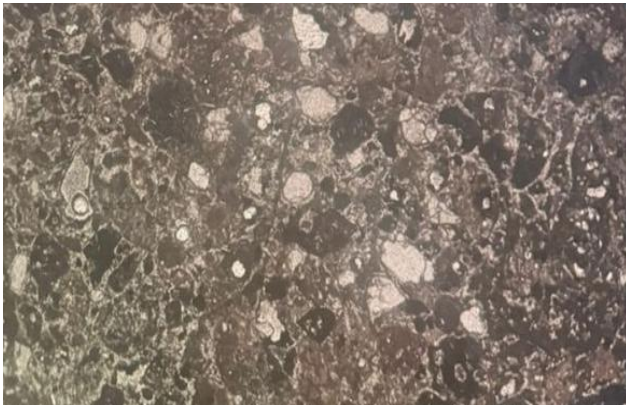
Figure 28 : Pouzzolane Grise en LPA et LPNA

c-3-Analyse Microscopique du Tuf Volcanique (Lame B3)

L'examen de la lame **B3** (**figure 29**) révèle une roche pyroclastique à **texture vitroclastique**, résultant de l'accumulation et de la consolidation de débris projetés lors d'une éruption explosive.

En **Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA)**, la roche présente une matrice fine de couleur beige à brun clair, constituée d'un mélange de poussières volcaniques et d'échardes de verre dévitrifiées. Au sein de cette matrice, on distingue des fragments de cristaux (clastes) et des lithoclastes (fragments de roche préexistante) aux contours anguleux et irréguliers. La présence de petites vacuoles de dégazage, parfois étirées, témoigne de la nature dynamique du dépôt.

En **Lumière Polarisée Analysée (LPA)**, les fragments cristallins se détachent nettement : on observe principalement des **microlites de plagioclase** reconnaissables à leurs teintes gris-blanc et leur forme en lattes, ainsi que de rares quartz ou feldspaths plus massifs. La matrice reste globalement sombre (extinction du verre), parsemée de micro-cristaux brillants résultant de la recristallisation secondaire. Cette hétérogénéité de taille et de forme des éléments confirme qu'il s'agit d'un **tuf**, où le matériel volcanique a été trié et déposé de manière sédimentaire.



B3 LPNA



B3 LPA

Figure 29 : Tuf Volcanique

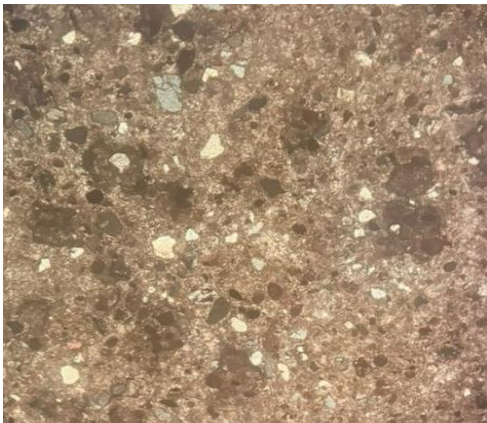
d-Analyse Microscopique de la Lame F (Volcano-Sédimentaire)

L'observation de la F (figure 30) révèle une roche à **texture tuffacée/vitroclastique**, témoignant d'un dépôt par chute de fragments pyroclastiques fins (cendres).

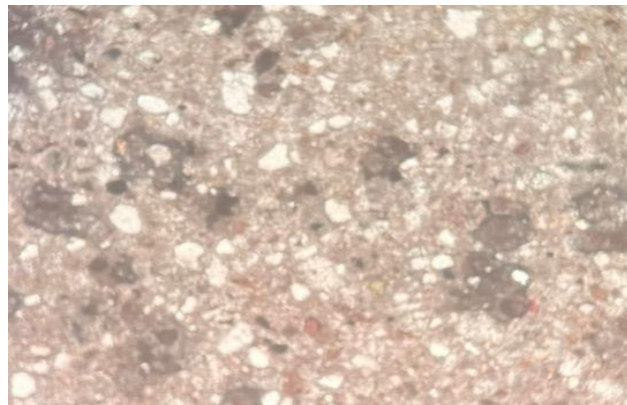
En **Lumière Polarisée Non Analysée (LPNA)**, l'échantillon présente un fond homogène de couleur jaune-brun à rose-gris, correspondant à une matrice d'échardes de verre volcanique (vitroclastes) dévitrifiées et de poussières fines. Dispersés au sein de cette matrice, on observe

Des phénocristaux fragmentés (clastes) clairs et sub-automorphes, contrastant fortement avec le fond de la roche.

En **Lumière Polarisée Analyisée (LPA)**, la texture s'éclaire : les phénocristaux, principalement des feldspaths (plagioclases aciculaires) et de rares quartz, se détachent nettement par leurs biréfringences gris-blanc du premier ordre. La matrice vitroclastique reste majoritairement sombre ou montre une extinction tachetée due à la recristallisation. L'alignement grossier de certaines échardes de verre (vitroclastes) suggère une dynamique de flux ou un tassement compactionnel lors du dépôt. L'assemblage minéralogique et textural confirme qu'il s'agit d'un **tuf volcano-sédimentaire**, correspondant à une accumulation sédimentaire de matériel pyroclastique fin.



F LPNA



F LPA

Figure 30 : Volcano-Sédimentaire en LPA et LPNA

3-3-3-la microscopie électronique à balayage (MEB)

❖ Introduction

La caractérisation microchimique des différentes phases des échantillons analysés (Basalte, pouzzolane et la volcano-sédimentaire) a été réalisée par **Spectrométrie à Dispersion d'Énergie (EDS)**, couplée à un Microscope Électronique à Balayage (MEB) (figure 31-32).

Cette technique d'analyse non destructive repose sur l'interaction entre un faisceau d'électrons incidents hautement énergétiques réglé à une tension d'accélération de **15 kV** et les atomes de l'échantillon. Les analyses ont été conduites sous forme de fenêtres d'acquisition ponctuelles (**Spots d'analyse**) réparties sur des zones géométriques distinctes de l'échantillon [Basalte B2 (Zones 1 à 4) (figure 33), Pouzzolane N (Zones 1 à 5) (figure 34), Volcano-sédim F (Zones 1 à 3) (figure 35), voir les annexes.



Figure 31 : image photographier de l'emplacement des lames mince sur le MEB



Figure 32 : image photographie de l'appareil MEB

1-Les basaltes

Une lame mince de l'échantillon de basalte (B2) a été analysée au M.E.B. Quatre zones distinctes ont été choisies pour mieux représenter l'échantillon. Dans chaque zone nous avons essayé de cibler tous les minéraux Sur le M.E.B

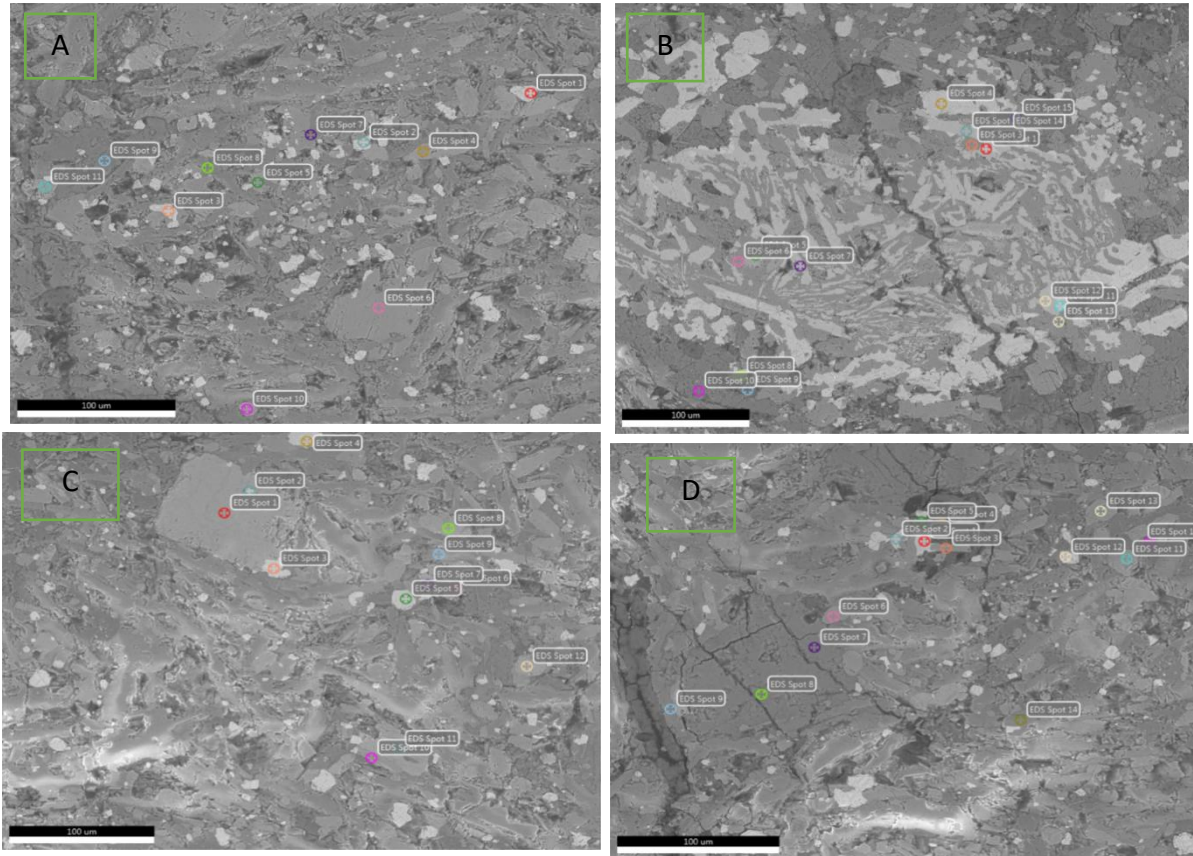


Figure 33 : Images du Basalte B2 (Zone 1) montrant 11 spots d'analyses (a) ; (Zone 2) : 15 spots (b) ; (Zone 3) : 14 spots d'analyses (c) et la (Zone 4) avec 12 spots (d)

Les analyses réalisées au MEB sur un échantillon de basalte (B2), réparties sur quatre zones révèlent la coexistence des minéraux suivants, structurés autour de trois grands assemblages, résumé dans le tableau :

Tableau 1 : la répartition du minéraux dans le Basalte

Famille Minérale	Minéraux Majeurs Identifiés	Rôle / Signification Pétrogénétique
Silicates Primaires	Augite, Olivine, Titanaugite, Andésine, Labradorite, Albite	Squelette magmatique originel (phénocristaux et microlites de la roche basique).
Oxydes de Fe-Ti	Titanomagnétite, Ilménite (parfois manganésienne), Titanite (Sphène)	Cristallisation syn-magmatique synchrone piégeant le fer et le titane.
Phases Secondaires	Hornblende, Chlorite, Smectite, Illite	Minéraux d'altération hydrothermale (faciès sous-marins ou de basses températures).

❖ Évolution Cristallogénétique

➤ **Zone 1 (Phases Initiales & Fond) :**

Elle est caractérisée par une matrice magmatique basique classique. On y trouve les premières manifestations des phénocristaux d'**augite** (pyroxènes calciques) associés aux lattes de **plagioclases** (intermédiaires à calciques), constituant la trame microlitique saine du basalte.

➤ **Zone 2 (Zone d'Enrichissement Magmatique) :**

Cette zone est marquée par une signature magmatique fortement alcaline et une forte activité du couple **Fer-Titane**. Elle concentre des **titanaugites / augites titanifères** (Ti= 9 à 1%), de l'**ilménite manganésienne** et des **titanomagnétites** denses, reflétant une accumulation tardive magmatique d'éléments incompatibles lourds. Un début d'altération en **illite/smectite** y est noté.

➤ **Zone 3 (Zone d'Altération Hydrothermale & Différenciation) :**

Elle témoigne d'une circulation importante de fluides post-magmatiques. Elle associe des pyroxènes primaires **augites** (qui ont ici perdu leur titane) à une paragenèse secondaire marquée par l'apparition d'amphiboles (**hornblende** par ouralitisaiton), de phyllosilicates hydratés (**chlorite, smectite**) et de plagioclases très différenciés à caractère sodique (**albite / oligoclase**).

➤ **Zone 4 (Vésicules, Bordure de Sédimentation ou Matrice Interstitielle) :**

La zone 4 représente la fin du processus évolutif de l'échantillon. Elle est majoritairement constituée de la **mésostase vitreuse résiduelle** altérée et de produits de comblement (solutions solides de basse température, argiles de type **saponite/smectites**, zéolites secondaires ou calcites de remplissage) piégeant les derniers cations libres (Na, Ca, Mg, Al).

❖ Conclusion Pétrogénétique

L'échantillon B2 est un **basalte alcalin à transitionnel** à texture microlitique. L'évolution à travers ses 4 zones montre qu'après une cristallisation fractionnée classique en contexte enrichi (marquée par les titanaugites et titanomagnétites), la roche a subi une histoire post-magmatique intense d'**hydrothermalisme (albitisation, ouralitisaiton et chloritisaiton)**, typique des coulées basaltiques altérées ou soumises à un métamorphisme de bas degré (faciès schistes verts).

❖ Discussion Géodynamique

L'étude microanalytique par EDS de l'échantillon B2 révèle une histoire pétrogénétique complexe en deux étapes majeures : un stade magmatique initial de type intra plaque, suivi d'un stade hydrothermal de basse température.

1. Le stade magmatique : un contexte de rift intraplaque

La paragenèse primaire est dominée par l'association d'augite, de titanaugite, de plagioclase (andésine-labradorite) et d'oxydes ferro-titanés (titanomagnétite et ilménite). L'abondance du titane, exprimée par la cristallisation de clinopyroxènes hautement titanifères (Zone 2) et de titanomagnétites massives, est la signature indiscutable d'un magmatisme **alcalin intraplaque**. Ce type de magma est généré par un faible taux de fusion partielle d'une source mantellique

profonde (panache ou anomalie thermique thermique sous un rift continental/océanique). Le fractionnement précoce des oxydes de Fe-Ti indique une fugacité d'oxygène fluctuante lors de la montée du magma.

Le stade post-magmatique : hydrothermalisme et métasomatisme

Les zones **3** et **4** montrent une déstabilisation nette de ce cortège primaire. L'apparition de la hornblende aux dépens de l'augite (ouralitisation) et la cristallisation de la chlorite signant le passage dans le **faciès des Schistes Verts**. Ce processus s'accompagne d'une "albitisation" des feldspaths (remplacement du calcium par le sodium, visible diapo 11 de la zone 3). Ces transformations traduisent une interaction intense entre la roche chaude et des fluides aqueux (eau de mer ou fluides juvéniles), typique d'un environnement tardive en contexte de coulée sous-aquatique.

2-La pouzzolane

Une lame mince de l'échantillon de basalte (N) a été analysée au M.E.B. Cinq zones distinctes ont été choisies pour mieux représenter l'échantillon. Dans chaque zone nous avons essayé de cibler tous les minéraux Sur le M.E.B

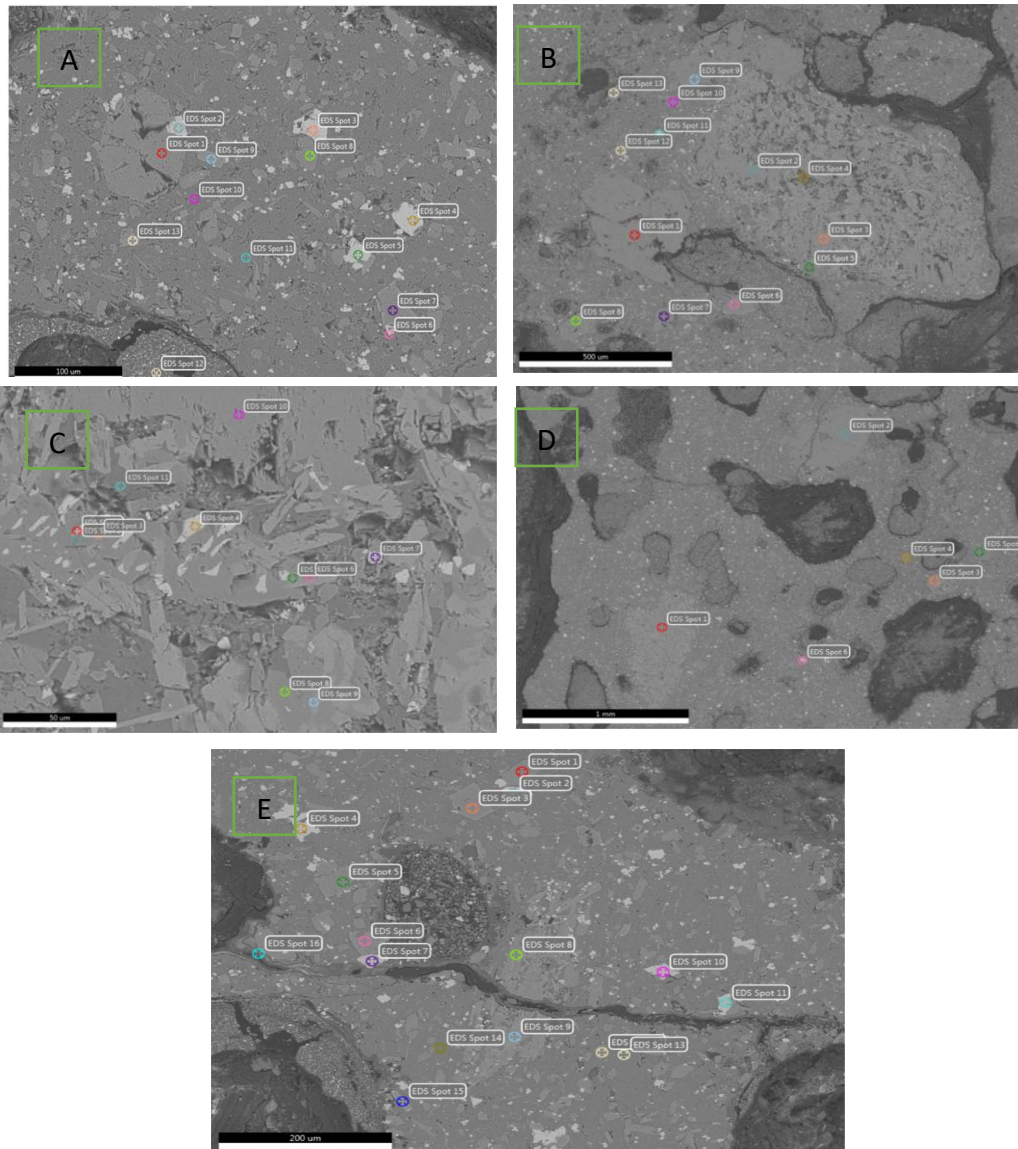


Figure 34 : Images du pouzzolane N (Zone 1) montrant 13 spots d'analyses (a) ; (Zone 2) : 13 spots (b) ; (Zone 3) : 11 spots d'analyses (c) ; (Zone 4) : 6 spots d'analyses (d) avec et la (Zone 5) avec 16 spots (d) d'analyses

Les analyses microstructurales par microsonde EDS effectuées sur l'échantillon de la roche pyroclastique pouzzolane (N) présente un bilan minéralogique et pétrographique global suivant :

1. Paragenèse minérale identifiée (Cortège minéralogique)

Cette étude met en évidence l'association de six phases minérales distinctes :

- **Clinopyroxène calcique (Augite / Augite titanifère/Diopside)** : Très abondant dans la matrice, caractérisé par ses fortes teneurs en (Ca =17-18%) en masse) et ses substitutions habituelles en (A) et (Ti).
- **Orthopyroxène (Enstatite ferreuse / Hypersthène)** : Marqué par une quasi-absence de calcium (0,9%) et une dominance du magnésium (Mg/Fe) d'environ (65-71%).
- **Olivine (Forstérite / chrysotile / Fayalite)** : Les premières fractions sont magnésiennes (Chrysolite) et évoluent par enrichissement vers des pôles tardifs ferrifères (Fayalite).
- **Amphibole calcique (Hornblende ferro-titanifère)** : Reconnaisable à sa teneur modérée en calcium (9,5%), sa richesse en fer et l'intégration d'alcalins (Na) et (K) dans son grand site structural "A".
- **Plagioclase (Andésine / Oligoclase)** : Tectosilicate alumino-silicaté montrant un rapport atomique (Ca/(Ca+Na)) proche de (50%).
- **Mica noir (Biotite alcaline)** : Phyllosilicate riche en potassium (6,8%) et sodium (7,4%), contenant des traces de chlore.
- **Oxydes métalliques (Ilménite pure (FeTiO₃))** : Minéraux opaques ferro-titanés caractérisés par l'absence presque totale de silice et un rapport atomique (Fe/Ti) proche de la stœchiométrie idéale.

2. Classification et nature de la roche

La présence conjointe et équilibrée de plagioclases intermédiaires (andésine), de deux types de pyroxènes (augite + enstatite), d'olivines (chrysotile / Fayalite), d'amphiboles et de micas noirs indique clairement que la pouzzolane « N » est issue d'un magma de composition chimique intermédiaire à basique.

Nature exacte de la roche : La coexistence d'une matrice à feldspaths alcalins et de plagioclases calciques enveloppant des olivines évolutives et des clinopyroxènes classe ce matériau comme une pouzzolane basaltique alcaline à trachy-basaltique.

Histoire de la cristallisation : Les olivines matérialisent une cristallisation fractionnée continue. Les premières fractions sont magnésiennes (Chrysolite) et évoluent par enrichissement vers des pôles tardifs ferrifères (Fayalite).

Phénomènes secondaires :

La concentration en Fer à 82,4% témoigne de poches résiduelles d'oxydation pure (Magnétite s.s.). L'anomalie à 27,8% de Manganèse est l'empreinte d'une **altération hydrothermale tardive**.

Texture et dynamique : Le caractère pouzzolanique intrinsèque implique une structure vacuolaire/alvéolaire. Les phénocristaux analysés baignent dans une matrice qui comporte du verre volcanique issu d'une trempe atmosphérique rapide lors d'une éruption explosive.

1. Conclusions Industrielles

Aptitude cimentière : La prédominance des phases silico-alkalines amorphes ou finement cristallisées confère au gisement une **excellente réactivité hydraulique**. La présence diffuse mais modérée d'oxydes ferro-titanifères (Ilménite) agira favorablement comme fondant lors de la cuisson si la pouzzolane est utilisée en cru, ou comme ajout inerte dense de haute qualité.

3-La formation volcano-sédimentaire

Une lame mince de l'échantillon de volcano-sédimentaire (F) a été analysée au M.E.B. Trois zones distinctes ont été choisies pour mieux représenter l'échantillon. Dans chaque zone nous avons essayé de cibler tous les minéraux Sur le M.E.B

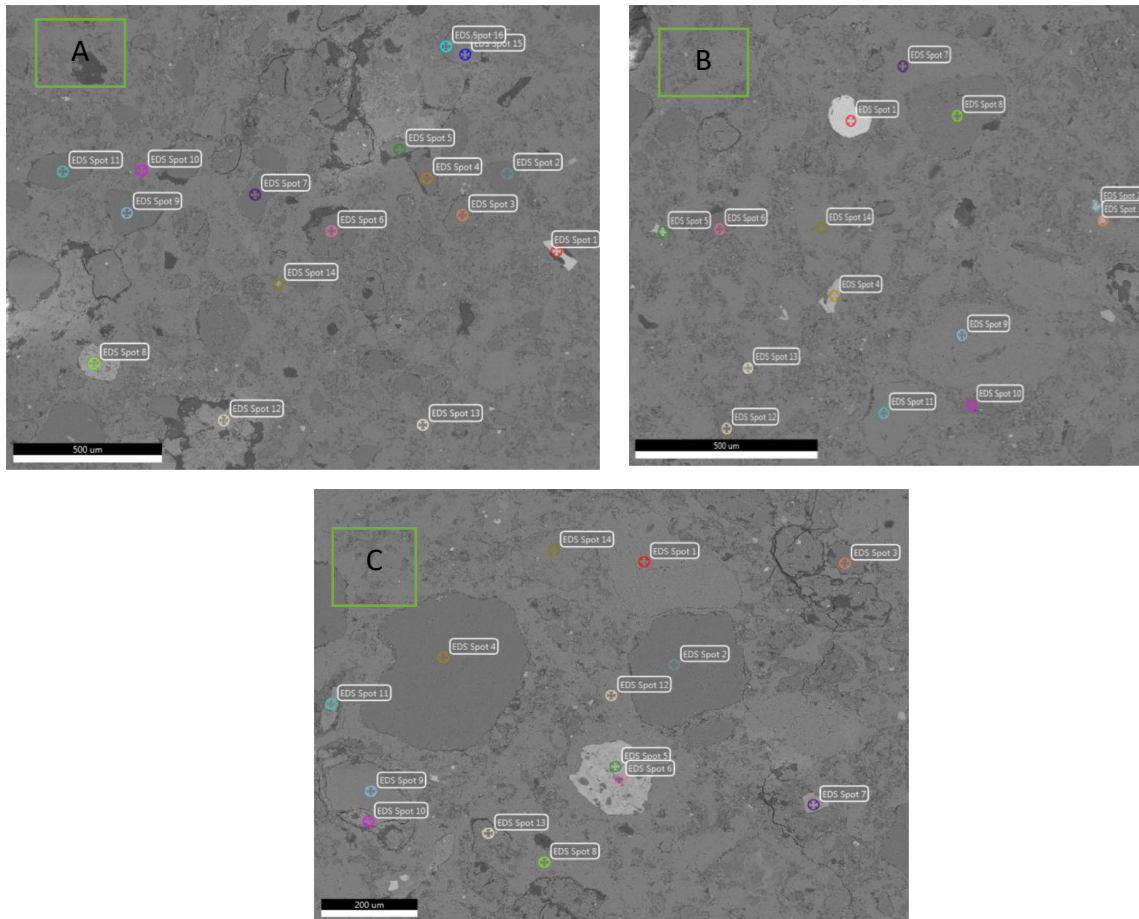


Figure 35 : Images du volcano-sédimentaire (F) (Zone 1) montrant 16 spots d'analyses (a) ; (Zone 2) : 14 spots (b) ; (Zone 3) : 14 spots d'analyses (c)

Les analyses réalisées au MEB sur un échantillon de lame mince provenant de la formation volcano-sédimentaire (F), réparties sur trois zones révèlent la coexistence des minéraux suivants, résumés dans le tableau suivant :

Tableau 2 : Synthétique et Évolution des Trois Zones

Composante Minérale	F Zone 1	F Zone 2	F Zone 3	Interprétation Dynamique
Quartz SiO₂	Très abondant	Très abondant	Très abondant	Fond sédimentaire détritique continu ou apport de silice hydrothermale.
Calcite CaCO₃	Pure	Pure	Enrichie en Mg	Cimentation diagénétique évoluant vers un pôle magnésien en fin de cycle.
Feldspaths	Altérés (Phyllosilicates)	Potassiques (Sanidine)	Sodiques (Albite)	Zone 2 : Magmatisme felsique acide. Zone 3 : Spilitisation (métasomatisme).
Oxydes de Fer Fe-O	Hématite pure	Titanomagnétite	Manganésifère	Évolution des sources magmatiques et persistance du caractère exhalatif.
Marqueurs Clés	Ilménite (+Mn)	Zircon Zr & Chrome Cr	Apatite P Smectite	Transition d'un milieu volcanoclastique vers un milieu confiné biologique.

❖ Modèle Pétrogénétique

L'histoire géologique de l'échantillon de la formation volcano-sédimentaire **F** s'articule autour de trois grands phénomènes synchrones :

1. Nature du Dynamisme Volcanique (L'Héritage Cristallin)

La roche provient du démantèlement d'un appareil volcanique bimodal. L'association de **Zircon** et de **Sanidine** atteste d'un pôle hautement différencié et explosif (rhyolitique à dacitique). À l'inverse, l'occurrence discrète de **Chrome** dans les spinelles ferro-titanés indique des contributions d'un magmatisme plus mafique (basaltique à andésitique).

2. Environnement de Dépôt et Activité Hydrothermale (Syn-sédimentaire)

Les débris volcaniques (cendres, cristaux de quartz, minéraux lourds) se sont déposés dans un bassin aquatique. L'omniprésence du **Manganèse (Mn)** incorporé dans l'ilménite et les oxydes de fer à travers toutes les zones signe une activité **volcano-exhalative** sous-aquatique continue. Des cheminées hydrothermales ont libéré des fluides métallifères chauds directement dans le sédiment en cours de dépôt.

3. Altération Post-Dépôt et Diagenèse (L'Évolution Chimique)

Après le dépôt, la roche a subi d'intenses transformations chimiques induites par la circulation des fluides :

- **Spilitisation** : Les feldspaths potassiques originels ont été remplacés par de l'**albite pure**, traduisant un lessivage et un échange cationique sodique avec l'eau du bassin.
- **Halmyrolyse** : Les verres volcaniques instables se sont dégradés en nappes d'argiles complexes (illites, puis smectites magnésiennes stables).
- **Cimentation** : Le réseau poreux a été définitivement scellé par une précipitation massive de **calcite**. L'enrichissement tardif de cette calcite en magnésium (calcite magnésienne) démontre un confinement progressif du milieu ou une influence accrue de l'altération des phases mafiques.

❖ Conclusion

La roche **F** est un **tuf volcanoclastique dacito-rhyolitique à ciment carbonaté** (ou une *tuffite gréso-calcaire*). Elle représente l'enregistrement sédimentaire parfait d'un bassin d'effondrement tectonique actif, alimenté par des retombées volcaniques acides régulières et constamment balayé par des circulations hydrothermales métallifères.

3-3-4-Analyse FTIR de la pouzzolane

1. Introduction

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une technique analytique fondamentale pour la caractérisation physicochimique des matériaux volcaniques. Dans cette étude, elle a été appliquée à la pouzzolane afin d'identifier les phases minérales, les structures amorphes et les liaisons chimiques responsables de sa réactivité pouzzolanique.

Cette méthode repose sur l'interaction entre le rayonnement infrarouge ($4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$) et les vibrations atomiques des liaisons chimiques. Chaque liaison absorbe des longueurs d'onde spécifiques, constituant une signature moléculaire unique du matériau.

2. Préparation de l'échantillon

L'échantillon de pouzzolane a été préparé selon le protocole suivant :

- Concassage manuel de la roche volcanique brute
- Broyage jusqu'à l'obtention d'une poudre fine homogène
- Tamisage — utilisation du passant au tamis $80\text{ }\mu\text{m}$ (ASTM N°200)
- Dépôt sur le support de l'appareil FTIR (marque Specac) avec légère compression (figure 36)
- Traitement numérique des données via le logiciel LabSolutions

3. Paramètres expérimentaux

Tableau 3 : Paramètres expérimentaux

Paramètre expérimental	Valeur
Domaine spectral	$4000 - 500\text{ cm}^{-1}$
Mode d'intensité	% Transmittance
Nombre de scans	35
Résolution	8 cm^{-1}
Fonction d'apodisation	Happ-Genzel

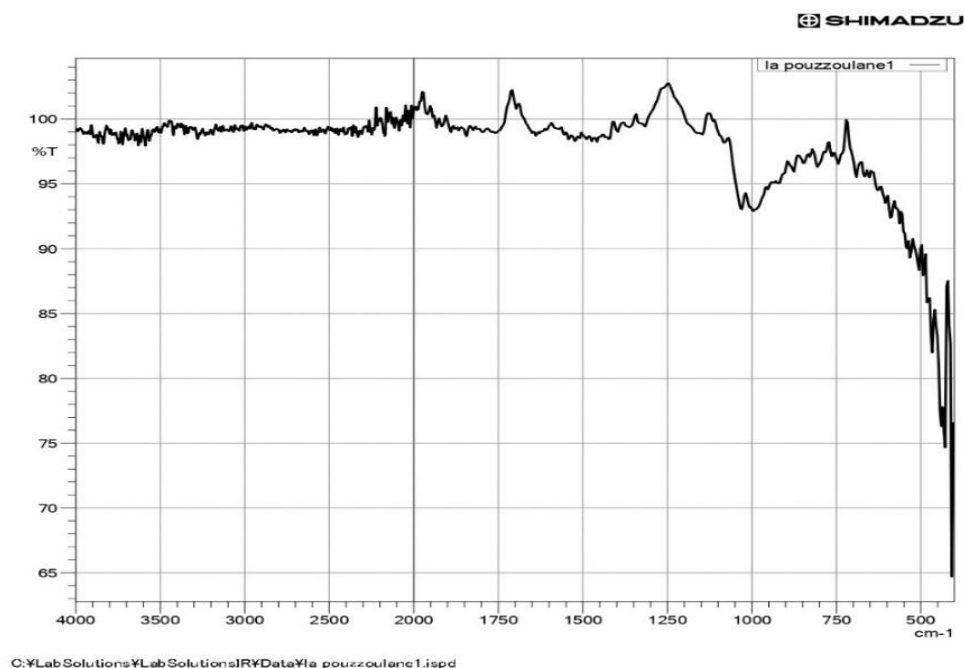
Transmission (%T) en fonction du nombre d'onde (cm^{-1}).



Figure 36 : appareil de FTIR

4. Spectre FTIR Mode Transmittance

Le spectre initial a été enregistré en pourcentage de transmittance (%T). Les bandes d'absorption apparaissent sous forme de creux orientés vers le bas. Ce mode permet une première identification des groupements fonctionnels présents dans la matrice minérale de la pouzzolane (figure 37).



	Item	Value
2	Sample name	
3	Sample ID	
4	Option	
5	Intensity Mode	% Transmittance
6	Apodization	Happ-Genzel
9	No. of Scans	35

1

Figure 37 : spectre de l'analyse FTIR de la pouzzolane

5. Spectre FTIR Mode Absorbance

Le spectre a été converti du mode transmittance vers le mode absorbance selon la relation : $A = \log(1/T) = -\log(T)$. Les bandes d'absorption apparaissent sous forme de pics positifs orientés vers le haut, offrant une meilleure lisibilité et une interprétation minéralogique plus précise (figure 38).

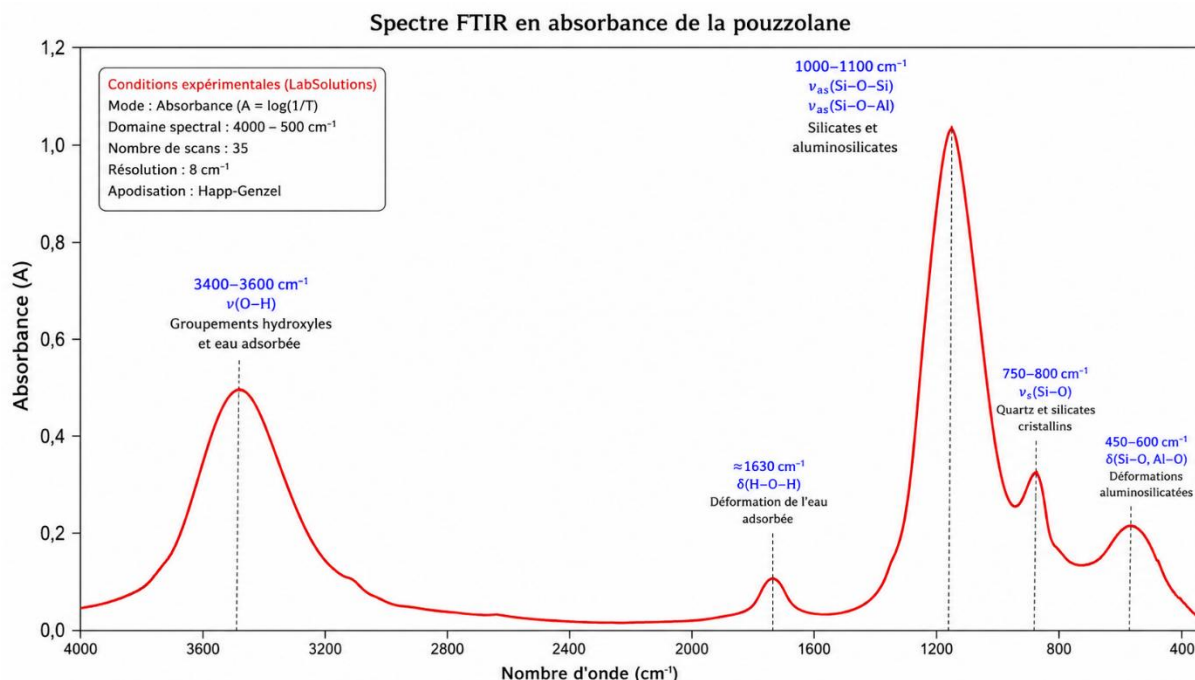


Figure 38 : Spectre FTIR de la pouzzolane (Absorbance)

6. Interprétation des bandes spectrales

Tableau 4 : l'attribution des principales bandes d'absorption identifiées dans le spectre FTIR de la pouzzolane, comparées aux domaines de référence des matériaux aluminosilicatés.

Domaine observé	Attribution chimique	Domaine standard (référence)
3400 – 3600 cm ⁻¹	Vibrations O–H (groupements hydroxyyles)	3200 – 3600 cm ⁻¹
≈ 1630 cm ⁻¹	Déformation H–O–H (eau adsorbée)	1600 – 1650 cm ⁻¹
1000 – 1100 cm ⁻¹	Vibrations Si–O–Si / Si–O–Al (silice amorphe, aluminosilicates)	950 – 1100 cm ⁻¹
750 – 800 cm ⁻¹	Vibrations symétriques silicatées (quartz, feldspaths)	770 – 800 cm ⁻¹
450 – 600 cm ⁻¹	Déformations Si–O / Al–O / O–Si–O	400 – 600 cm ⁻¹

7. Indicateurs de réactivité pouzzolanique

L'analyse des bandes spectrales met en évidence plusieurs indicateurs clés de la réactivité pouzzolanique de la roche étudiée. Le caractère large et diffus des bandes constitue le marqueur principal d'une structure amorphe dominante, facteur essentiel de la réactivité chimique avec la chaux.

Tableau 5 : Indicateurs de réactivité pouzzolanique

Indicateur	Observation dans la pouzzolane	Interprétation
Largeur des bandes	Bandes larges et diffuses	Structure amorphe dominante
Bande 1000–1100 cm ⁻¹	Très intense	Forte concentration en silice amorphe
Bande OH (3400–3600)	Large et prononcée	Présence d'eau adsorbée et hydroxyles
Bande 750–800 cm ⁻¹	Faible intensité	Phases cristallines minoritaires
Bande 450–600 cm ⁻¹	Bien définie	Réseau aluminosilicaté complexe

8. Comparaison avec la norme ASTM C618

La norme ASTM C618 relative aux matériaux pouzzolaniques naturels exige une forte présence de silice, d'alumine et de phases aluminosilicatées réactives. Le tableau ci-dessous synthétise la conformité des résultats FTIR obtenus avec les exigences normatives.

Tableau 6 : Comparaison avec la norme ASTM C618

Exigence ASTM C618	Résultat FTIR	Conformité
Présence de silice	Bande intense 1000–1100 cm ⁻¹	✓ Conforme
Présence d'alumine / aluminosilicates	Bandes 450–600 cm ⁻¹	✓ Conforme
Phases réactives (amorphes)	Bandes larges, peu cristallisées	✓ Conforme
Absence de phases inertes dominantes	Phases cristallines faibles (750–800)	✓ Conforme

9. Conclusion

L'analyse FTIR de la pouzzolane révèle une matrice minérale dominée par des aluminosilicates amorphes riches en silice. Les résultats obtenus peuvent être synthétisés comme suit :

- Bande principale (1000–1100 cm^{-1}) : forte présence de silice amorphe et d'aluminosilicates indicateur majeur de réactivité
- Bandes hydroxyles (3400–3600 cm^{-1}) : eau adsorbée et hydroxyles structuraux confirmés
- Bandes secondaires (750–800 cm^{-1}) : phases cristallines (quartz, feldspaths) minoritaires
- Bandes de déformation (450–600 cm^{-1}) : réseau aluminosilicaté complexe caractéristique

Le caractère amorphe dominant, mis en évidence par la largeur et la diffusion des bandes spectrales, confirme le potentiel élevé de cette pouzzolane pour les applications en géotechnique, stabilisation de sols, additions cimentaires et bétons pouzzolaniques. Ces résultats sont pleinement conformes aux exigences de la norme ASTM C618 pour les matériaux pouzzolaniques naturels réactifs.

Conclusion

L'investigation intégrée de la carrière de Béni Saf révèle un **complexe volcanique mio-plio-quaternaire** d'une complexité lithologique remarquable, dont la genèse s'inscrit dans une dynamique magmatique **polyphasée** alternant entre régimes effusifs et épisodes explosifs. L'analyse microstructurale des faciès basaltiques cohérents (**B2, F9**) met en évidence une cristallisation primaire régie par une paragenèse classique à **plagioclases et clinopyroxènes**, structurée au sein de textures microlitiques à porphyriques témoignant de cinétiques de refroidissement rapides. Toutefois, la détection de phases minérales hydratées, notamment l'**amphibole** et la **biotite**, constitue un marqueur pétrogénétique fondamental, signalant l'existence d'un réservoir magmatique originellement saturé en volatils. Cette richesse en phase gazeuse est corroborée par l'omniprésence de structures hautement **vacuolaires** au sein des **pouzzolanes grises et noires (B4, N)**, ainsi que par les textures vitroclastiques identifiées dans les **tufs (B3)** et les dépôts **volcanosédimentaires (F)**, reflets directs d'une décompression adiabatique brutale et d'un dégazage syn-éruptif violent.

Au-delà de la phase de mise en place, l'étude souligne l'importance des remaniements post-magmatiques : l'occurrence de l'**épidote** et, de manière plus spectaculaire, le **colmatage carbonaté** systématique (calcite) des porosités au sein du faciès **F9**, attestent d'une activité hydrothermale intense et de circulations de fluides tardives. Ces interactions fluides-roches ont



Chapitre IV :

Exploitation

Chapitre IV : Exploitation

1-Introduction

L'exploitation de la pouzzolane dans la carrière de Béni Saf est réalisée à **ciel ouvert**, dans un contexte géologique favorable au niveau de la région de Béni Saf, et assurée par l'ENG. Ce mode d'exploitation permet une extraction directe et efficace du gisement tout en optimisant les rendements.

Le processus commence par l'**extraction mécanique** du matériau à l'aide d'engins de chantier appropriés, suivie du **roulage et transport interne** vers les unités de traitement. La pouzzolane subit ensuite un **traitement** comprenant le criblage et la classification granulométrique afin d'obtenir des produits conformes aux normes industrielles. Enfin, une étape de **pesage** est effectuée pour assurer le contrôle des quantités produites et la traçabilité des lots.

Ainsi, cette chaîne opératoire intégrée illustre une organisation technique structurée de l'exploitation à ciel ouvert, garantissant à la fois la qualité du produit et l'efficacité du processus d'extraction.

2-Présentation sur la pouzzolane

La pouzzolane appartient à la famille des roches et minéraux industriels d'origine volcanique, plus précisément aux produits pyroclastiques issus d'éruptions volcaniques. Elle se caractérise par une structure alvéolaire, une faible densité et une texture vacuolaire liée à la présence de nombreuses bulles de gaz piégées lors du refroidissement rapide du magma (BRGM, 2004 ; Rédaction, 2012). Constituée majoritairement de verre volcanique amorphe, elle renferme également divers minéraux magmatiques tels que les feldspaths, les pyroxènes, l'olivine ou encore des oxydes de fer, ce qui lui confère des propriétés physico-chimiques particulières (BRGM, 2004). Ces caractéristiques la placent dans la catégorie des granulats légers, aux côtés d'autres matériaux comme les ponces, dont elle se distingue toutefois par sa composition plus basique et son origine souvent basaltique (Rédaction, 2012).

Sur le plan terminologique, le mot « pouzzolane » trouve son origine dans la ville de Pouzzoles, située dans la région volcanique de Naples, où ces matériaux étaient exploités dès l'Antiquité (Rédaction, 2012). Les Romains avaient en effet reconnu très tôt les propriétés hydrauliques remarquables de ces cendres volcaniques, capables de réagir avec la chaux pour former des mortiers résistants, même en milieu humide (BRGM, 2004). Cette utilisation a largement contribué au développement de techniques de construction durables, dont certains ouvrages subsistent encore aujourd'hui (Rédaction, 2012). Par extension, le terme « pouzzolane » a été utilisé dans divers contextes pour désigner des matériaux naturels ou artificiels possédant des

propriétés pouzzolaniques similaires (BRGM, 2004). Toutefois, dans l'acception française moderne, la définition est plus restrictive : elle désigne spécifiquement des roches volcaniques

scoriacées issues d'éruptions stromboliennes, de composition basaltique, équivalentes au terme anglo-saxon « scoria » (Rédaction, 2012).

D'un point de vue génétique, la pouzzolane résulte de la fragmentation du magma lors d'éruptions volcaniques modérément explosives. Sous l'effet de la décompression, les gaz dissous dans le magma se libèrent et forment des bulles, entraînant une vésiculation intense du matériau (BRGM, 2004). Les fragments ainsi produits, appelés pyroclastes, sont projetés dans l'atmosphère puis refroidissent rapidement au cours de leur trajectoire, ce qui empêche la cristallisation complète et favorise la formation de verre volcanique (Rédaction, 2012). Selon leur taille, ces éléments sont classés en cendres, lapilli ou bombes volcaniques (BRGM, 2004). Leur accumulation autour du point d'émission conduit à l'édification de cônes volcaniques caractéristiques, dits stromboliens, constitués de dépôts scoriacés organisés en différents faciès (cœur de cône, base de cône, retombées distales) (Rédaction, 2012).

La répartition spatiale et la qualité des gisements de pouzzolane dépendent étroitement de cette dynamique éruptive ainsi que des processus post-volcaniques. En raison de l'instabilité thermodynamique du verre volcanique, ces matériaux sont sensibles à l'altération chimique, qui peut entraîner leur transformation en minéraux argileux (BRGM, 2004). C'est pourquoi les gisements exploitables se trouvent généralement dans des régions volcaniques récentes, notamment d'âge quaternaire, où les propriétés initiales sont encore préservées (Rédaction, 2012). Des ensembles volcaniques comme la Chaîne des Puys illustrent parfaitement ce type de contexte géologique (BRGM, 2004).

Ainsi, la pouzzolane se présente comme un matériau naturel aux origines géodynamiques bien définies, dont les propriétés physiques, chimiques et technologiques découlent directement des conditions de sa formation (BRGM, 2004 ; Rédaction, 2012). À la croisée des domaines de la volcanologie, de la pétrographie et du génie civil, elle constitue une ressource stratégique, exploitée depuis l'Antiquité jusqu'à nos jours pour ses qualités exceptionnelles dans la formulation de matériaux de construction durables et performants (Rédaction, 2012).



Figure 39 : la pouzzolane

3-Domaine d'utilisation de la pouzzolane

La pouzzolane est un matériau volcanique naturel aux propriétés physico-chimiques remarquables, ce qui lui confère une large gamme d'applications dans plusieurs secteurs.

Dans le génie civil et le bâtiment, elle est utilisée comme ajout dans les bétons et mortiers afin d'améliorer la durabilité, la résistance chimique et de réduire la perméabilité, ainsi que comme granulats légers pour les bétons allégés.

Dans le domaine hydraulique et environnemental, elle intervient dans la filtration et le traitement des eaux grâce à sa porosité élevée, ainsi que dans les systèmes de drainage et la stabilisation des sols.

En agriculture et horticulture, elle est employée comme substrat de culture et amendement, améliorant l'aération du sol, le drainage et la rétention d'eau, favorisant ainsi le développement des plantes.

Enfin, dans le domaine cosmétique, la pouzzolane finement broyée est utilisée comme agent exfoliant naturel dans certains produits de soins, grâce à ses propriétés légèrement abrasives et absorbantes.

Ainsi, la pouzzolane se distingue comme un matériau polyvalent, exploité aussi bien dans les secteurs industriels que dans les applications environnementales, agricoles et cosmétiques.

4-Le Processus Opérationnel de Production de la Pouzzolane

4-1-L'Extraction Mécanique

La première phase du cycle consiste à extraire le matériau brut directement du front de taille. Pour la pouzzolane, qui est une roche volcanique alvéolaire relativement friable, on privilégie

Chapitre IV : Exploitation

L'extraction mécanique directe. Une pelle hydraulique (Fig.40), équipée d'un godet robuste ou d'un brise-roche si nécessaire, fragmente et récupère les blocs de roche. Cette étape est cruciale car elle conditionne la productivité de la carrière en assurant un flux constant de matériaux vers l'étape suivante.



Figure 40 : Extraction par une pelle hydraulique

4-2- Le Roulage

Une fois extraite, la pouzzolane doit être acheminée vers l'unité de traitement. Cette opération, appelée roulage, est assurée par des camions de type « dumper » (Fig.41) ou tombereaux, conçus pour circuler sur des pistes de carrière accidentées. Ce transport interne fait le lien entre la zone d'extraction (souvent changeante) et l'installation fixe de concassage. L'efficacité du roulage dépend de l'optimisation des cycles de rotation et de l'entretien des pistes pour minimiser la consommation de carburant.



Figure 41 : roulage par camions de type « dumper »

4-3- Le Traitement

Le traitement est le cœur technique de la carrière. La pouzzolane brute passe d'abord par un concassage pour réduire la taille des blocs, puis est acheminée par des convoyeurs (bandes transporteuses) vers des cribles. Ces derniers assurent la granulométrie, c'est-à-dire la Séparation des grains selon leur taille (sables, gravillons, etc.) afin de répondre aux normes de

construction ou d'industrie. Les produits finis sont ensuite dirigés vers des parcs de stockage où ils sont entreposés par catégories en attendant leur expédition.

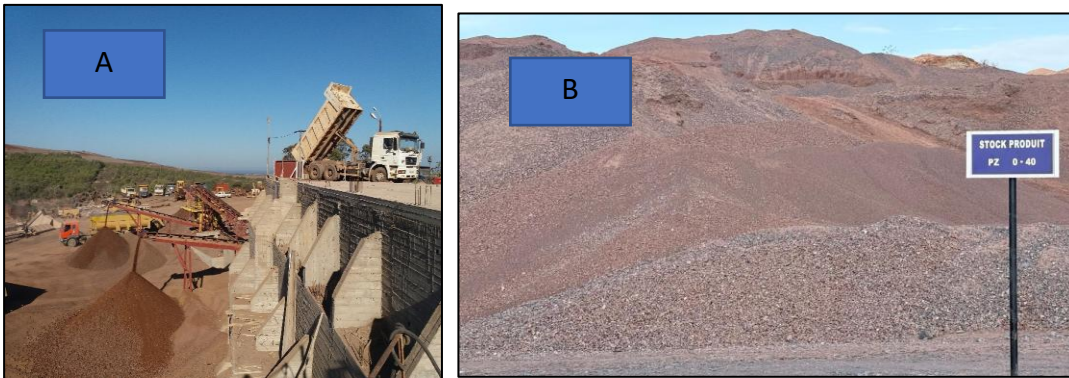


Figure 42 : image du traitement (a) et stockage (b) de la pouzzolane

4-4-Le Pesage et l'Expédition

La phase finale commence par le passage sur le pont-bascule (Fig.43). Chaque camion quittant le site est pesé avec précision pour déterminer la masse exacte de pouzzolane emportée. Cette étape est indispensable pour la facturation, le respect des charges autorisées sur route et le suivi des stocks. Une fois pesée et munie de son bon de livraison, la marchandise est transportée par route vers les clients (cimenteries, entreprises de BTP ou paysagistes), marquant la fin du cycle de production.



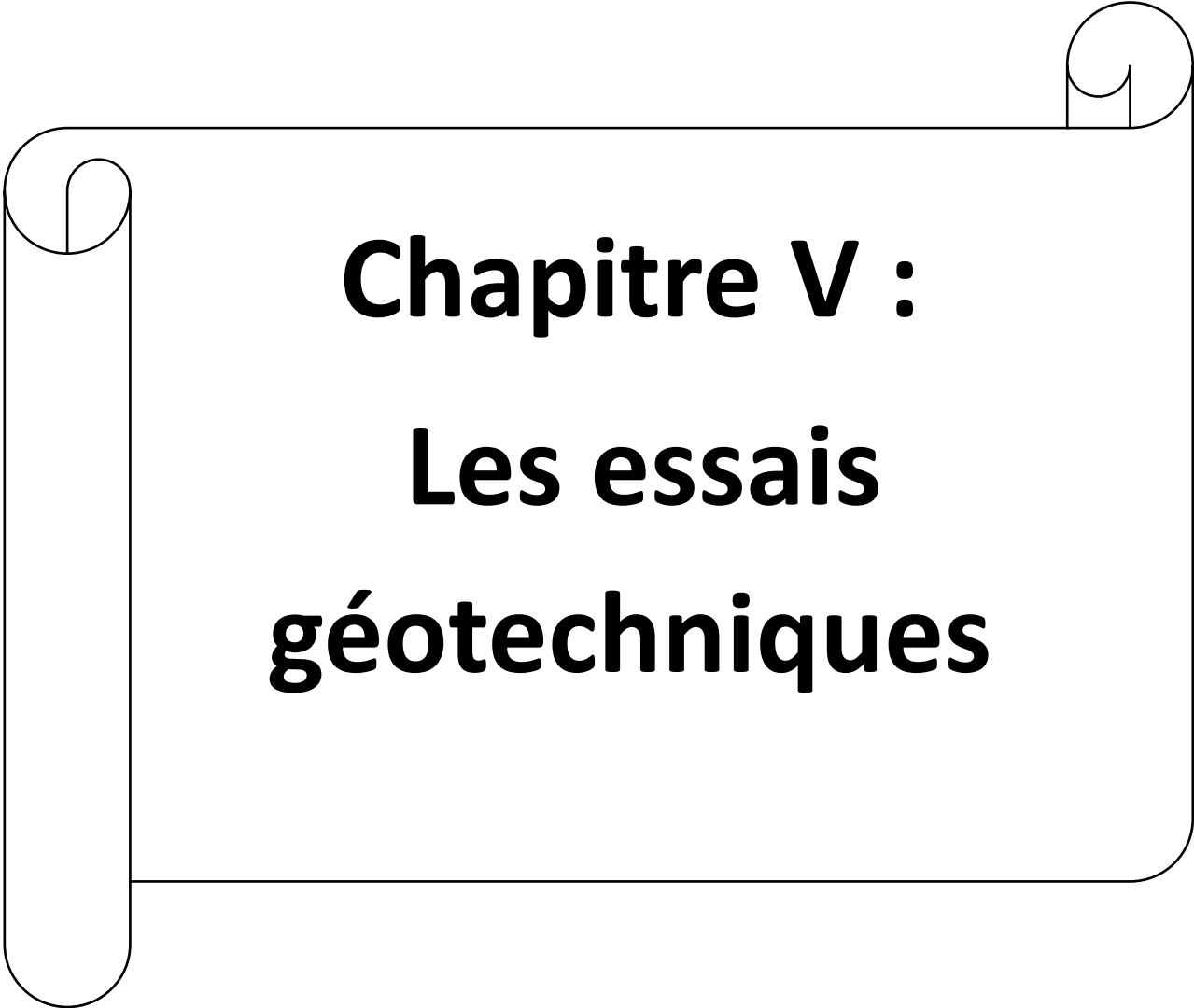
Figure 43 : Photographie montrant le pont-bascule

5-Conclusion

La carrière de pouzzolane de Béni-Saf est exploitée à ciel ouvert par l'ENG. La pouzzolane est une roche volcanique d'origine pyroclastique, caractérisée par sa structure alvéolaire, sa faible densité et ses propriétés pouzzolaniques, ce qui lui confère une large gamme d'utilisations dans le génie civil, l'hydraulique, l'agriculture et la cosmétique.

Le cycle de production s'articule en quatre étapes principales :

1. **L'extraction** : réalisée mécaniquement à l'aide d'une pelle hydraulique au front de taille.
2. **Le roulage** : transport du matériau brut vers l'unité de traitement par des camions de type dumper.
3. **Le traitement** : concassage, criblage et classification granulométrique pour obtenir des produits conformes aux normes.
4. **Le pesage et l'expédition** : contrôle des quantités via un pont-bascule, puis livraison aux clients.



Chapitre V :
Les essais
géotechniques

Chapitre V : les essais géotechniques

1-Les essais géotechniques

1-1-Introduction

Dans le domaine de la géologie appliquée et du génie civil, la caractérisation des matériaux naturels constitue une étape fondamentale pour garantir la stabilité et la durabilité des ouvrages. Les granulats d'origine volcanique, tels que la pouzzolane, présentent des propriétés spécifiques liées à leur texture, leur porosité et leur structure interne, ce qui influence directement leur comportement mécanique.

Dans ce contexte, nous avons entrepris une étude expérimentale visant à évaluer la capacité de la pouzzolane à résister aux différentes sollicitations mécaniques, notamment l'usure et la fragmentation. Ces propriétés sont essentielles pour déterminer son aptitude à être utilisée dans des applications géotechniques, telles que les couches de chaussée, les remblais ou les matériaux de construction.

Pour atteindre cet objectif, nous avons réalisé deux essais géotechniques normalisés complémentaires :

L'essai **Micro-Deval**, qui permet d'évaluer la résistance à l'usure en milieu humide, (figue 44)

L'essai **Los Angeles**, qui permet de mesurer la résistance à la fragmentation sous l'effet de chocs en milieu sec. (fig 45)

Ces essais nous ont permis d'analyser le comportement réel de la pouzzolane et d'identifier ses limites d'utilisation dans les domaines de la géologie et du génie civil.

1-2- Essai Micro-Deval

Principe de l'essai

L'essai Micro-Deval consiste à soumettre un échantillon de granulats à une action combinée de chocs et de frottement dans un tambour en rotation, en présence d'eau et de billes en acier. Il permet de simuler les conditions d'usure en milieu humide et d'évaluer la résistance des matériaux à l'abrasion.

Déroulement expérimental

Dans un premier temps, nous avons procédé à la préparation de l'échantillon de pouzzolane. Nous avons prélevé une masse de **500 g**, en veillant à obtenir un matériau homogène et Représentatif. Cette étape est essentielle pour assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats.

Nous avons ensuite réalisé un **tamissage granulométrique** à l'aide des tamis de **6,3 mm et 4 mm**. Le matériau passant au tamis de 6,3 mm a été récupéré, puis nous avons retenu le **refus**

Chapitre V : Les essais géotechniques

du tamis de 4 mm, ce qui nous a permis d'obtenir une fraction granulométrique comprise entre 4 mm et 6,3 mm, conforme aux exigences de l'essai.

Après cette étape de préparation, nous avons introduit l'échantillon dans le tambour de la machine Micro-Deval. Nous avons ajouté une charge abrasive constituée de **2 kg de billes en acier**(fig), destinées à reproduire les effets de frottement et d'impact. Afin de simuler un environnement humide, nous avons également ajouté **2,5 litres d'eau**.

Une fois le tambour correctement fermé, nous avons mis en marche l'appareil et programmé **12 000 rotations**, correspondant à une durée d'environ **2 heures**. Durant cette phase, les granulats ont été soumis à des sollicitations continues : les chocs provoqués par les billes et les frottements entre les grains ont entraîné une dégradation progressive du matériau, tandis que la présence d'eau a favorisé la formation de particules fines.

À la fin de l'essai, nous avons récupéré le contenu du tambour et séparé manuellement les billes en acier de la pouzzolane. L'échantillon a ensuite été lavé afin d'éliminer les fines produites, puis filtré.

Nous avons placé le matériau dans une étuve à **105°C pendant 24 heures**, jusqu'à obtention d'une masse constante. Après séchage et refroidissement, nous avons effectué la pesée finale du matériau, correspondant à la masse résiduelle après usure.

Calcul du coefficient Micro-Deval

$$M_{DE} = \frac{(M-M')}{M} * 100 ; M_{DE} = \frac{(500-115)}{500} * 100$$

Avec :

- **M = 500 g** (masse initiale)
- **M' = 115 g** (masse finale)

On obtient :

$$M_{DE} = 77\%$$

Interprétation des résultats

Le coefficient obtenu est très élevé, ce qui indique que la pouzzolane subit une perte de masse importante sous l'effet de l'usure. Cela traduit une **faible résistance à l'abrasion** et une forte tendance à produire des fines en milieu humide.

Ce comportement montre que le matériau est **peu durable dans des conditions hydriques**, ce qui constitue une limite importante pour certaines applications en génie civil.



Figure 44 : image montre le poids des billes en fer utiliser(a) et l'appareil micro dévale (b)

1-3- Essai Los Angeles

Principe de l'essai

L'essai Los Angeles consiste à soumettre un échantillon de granulats à des chocs répétés dans un tambour en rotation, en présence de billes en acier et en absence d'eau. Il permet d'évaluer la résistance du matériau à la fragmentation.

Déroulement expérimental

Dans un premier temps, nous avons procédé à un **concassage manuel** de la pouzzolane à l'aide d'un marteau, afin d'obtenir des fragments de dimensions adaptées à l'essai. Cette étape permet d'homogénéiser le matériau et de le préparer au tamisage.

Nous avons ensuite effectué un **tamisage granulométrique** en utilisant les tamis de **10 mm et 6,3 mm**. Le matériau passant au tamis de 10 mm a été récupéré, puis nous avons retenu le **refus du tamis de 6,3 mm**, correspondant à la fraction requise.

Nous avons pesé une masse totale de **5000 g (5 kg)** de matériau, constituant l'échantillon d'essai. Cet échantillon a été introduit dans le tambour de la machine Los Angeles.

Nous avons ajouté **9 billes en acier**, qui jouent le rôle de charge d'impact. Contrairement à l'essai Micro-Deval, cet essai a été réalisé **à sec**, sans ajout d'eau.

Après fermeture du tambour, nous avons mis l'appareil en marche pour **500 rotations**, soit environ **30 minutes**. Pendant cette phase, les granulats ont subi des chocs violents et répétés, entraînant leur fragmentation progressive.

À la fin de l'essai, nous avons récupéré le matériau et procédé à un **tamisage sur un tamis de 1,6 mm** afin de séparer les particules fines de la fraction grossière.

Chapitre V : Les essais géotechniques

Nous avons ensuite récupéré le **refus du tamis de 1,6 mm**, correspondant aux éléments non fragmentés, et nous avons effectué la pesée finale.

Calcul du coefficient Los Angeles

$$L_A = \frac{(M - M')}{M} * 100 ; L_A = \frac{(5000 - 2262)}{5000} * 100$$

Avec :

- **M = 5000 g**
- **M' = 2262 g**

On obtient :

$$L_A = 54,76 \%$$

Interprétation des résultats

La valeur obtenue est supérieure aux limites généralement admises, ce qui indique une **faible résistance du matériau aux chocs et à la fragmentation**.

Cela signifie que la pouzzolane se dégrade rapidement sous l'effet de sollicitations mécaniques répétées, produisant une quantité importante de fines.



Figure 45 : appareil de los Anglos

1-4-Conclusion

À travers la réalisation des essais Micro-Deval et Los Angeles, nous avons pu caractériser le comportement mécanique de la pouzzolane étudiée dans des conditions simulant des sollicitations réelles.

Les résultats obtenus montrent que :

- Le coefficient Micro-Deval (**77 %**) indique une forte sensibilité à l'usure,
- le coefficient Los Angeles (**54,76 %**) traduit une faible résistance aux chocs.

Ces résultats mettent en évidence que la pouzzolane est un matériau **fragile, friable et peu résistant mécaniquement**.

Du point de vue géologique, cela reflète sa nature poreuse et sa structure interne altérable. Du point de vue du génie civil, son utilisation doit être **limitée à des applications peu exigeantes**, ou nécessiter une amélioration par mélange avec des matériaux plus résistants

2-Essais Réalisés au laboratoire du carrière Bouhamidi

2-1-Introduction

Dans le cadre de l'étude géotechnique et minéralogique de nos échantillons, la caractérisation physique et physico-chimique constitue une étape charnière. En géologie appliquée, ces essais ne sont pas de simples mesures de laboratoire, mais des outils permettant de traduire le comportement mécanique et chimique des formations rocheuses ou sédimentaires.

Les **essais physiques** nous permettent de quantifier les propriétés intrinsèques de la roche ou du granulat (porosité, densité, masse volumique), tandis que les **essais physico-chimiques** nous renseignent sur la réactivité minéralogique du matériau (comme sa pouzzolanité). L'ensemble de ces données est indispensable pour évaluer l'aptitude d'un matériau à être utilisé dans les travaux de génie civil ou pour comprendre son historique de mise en place géologique.

2-2-Étude de la Masse Volumique Vrac (Norme NF EN 1097-3)

1. Définition et But de l'Essai

La **Masse Volumique Vrac (MVV)** est définie comme la masse d'un matériau sec par unité de volume total occupé dans un récipient, en incluant les vides entre les grains.

Le but de cet essai est multiple :

- Déterminer la compacité apparente des granulats (ici de classe **0/40**).
- Évaluer les volumes de stockage nécessaires pour les matériaux extraits.
- Fournir des données de base pour le calcul du foisonnement et la formulation des mélanges.

2. Mode Opératoire : Étapes de Préparation

Pour réaliser cet essai au sein du **Laboratoire Beni-Saf**, nous avons suivi un protocole strict :

1. **Préchantillonnage** : Nous avons prélevé trois échantillons après division (notés M1, M2, M3 aux alentours de 35 kg) pour assurer la représentativité des résultats.
2. **Séchage** : Nous avons placé les échantillons à l'étuve à **105°C** jusqu'à obtenir une masse constante, garantissant ainsi que seule la phase solide est mesurée.
3. **Étalonnage du conteneur** : Nous avons pesé le conteneur vide (9280 g) puis rempli d'eau (30060 g). Cette étape nous a permis de déduire par calcul le volume rigoureux du récipient, soit **20 780 cm³**.

4. **Remplissage et Finition** : Nous avons rempli le conteneur avec l'échantillon sec en veillant à ne pas provoquer de ségrégation. Nous avons ensuite nivelé la surface à l'aide d'une règle pour qu'elle affleure parfaitement le bord supérieur.
5. **Pesée** : La masse finale mesurée pour l'ensemble (conteneur + matériau) a été de **35 134g**.

3. Calcul et Interprétation des Résultats

Nous avons appliqué la formule de la norme :

$$M_{vv} = \frac{M_s}{V_{matériaux}} = \frac{M_s}{V_{total} - V_{eau}}$$

Interprétation : Le résultat obtenu de **1,25 Mg/m³** (pour l'échantillon provenant de l'Unité 28 Bouhamidi) indique que le matériau possède une densité apparente relativement faible. En géologie, cela suggère soit une roche de faible densité massique, soit, plus probablement, une structure granulaire présentant un indice de vides important entre les éléments de la classe 0/40. Ce paramètre est essentiel pour prévoir le tassement futur du matériau sous charge.

2-3-Conclusion

De l'ensemble de nos essais physiques et des premières analyses physico-chimiques (pouzzolanité), nous pouvons déduire que le matériau étudié présente des caractéristiques techniques bien spécifiques.

La mesure de la masse volumique vrac nous a permis de quantifier l'occupation spatiale du matériau, révélant une structure aérée qui nécessitera une attention particulière lors du compactage. Parallèlement, l'essai de réactivité pouzzolanique (basé sur l'absorption de chaux sur 30 jours) confirme que ce matériau n'est pas inerte et possède un potentiel de liaison chimique intéressant.

En conclusion, ces résultats nous permettent de valider l'usage de ces ressources locales (Zone de Beni Saf / Bouhamidi) tout en adaptant les protocoles de mise en œuvre en fonction de leur comportement physique et de leur réactivité minéralogique observée en laboratoire voire les annexes.



Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'étude géologique et géotechnique de la pouzzolane de la région de Béni Saf, menée dans le cadre de ce travail, a permis de caractériser ce matériau volcanique sous ses aspects fondamentaux et applicatifs.

Sur le plan géologique, les investigations de terrain et les analyses pétrographiques ont confirmé l'origine volcanique explosive du gisement de Bouhamidi. La texture vacuolaire et la nature basaltique des scories témoignent d'un refroidissement rapide des projections magmatiques au cours du Plio-Quaternaire. L'examen en lames minces a mis en évidence une matrice vitreuse prédominante, caractéristique essentielle pour la réactivité chimique du matériau.

Sur le plan géotechnique, les essais physiques ont révélé une masse volumique vrac de 1,25 Mg/m³, traduisant une structure aérée et un indice de vides important. Si les essais mécaniques (Los Angeles et Micro-Deval) indiquent une certaine fragilité face aux sollicitations physiques intenses, les analyses complémentaires par spectroscopie infrarouge (FTIR) et microscopie électronique (MEB) valident un fort potentiel de réactivité pouzzolanique. L'essai d'absorption de chaux sur 30 jours confirme que ce matériau n'est pas inerte et peut jouer un rôle actif comme liant hydraulique.

En conclusion, la pouzzolane de Béni Saf constitue une ressource minérale de premier plan pour la région. Ses propriétés physico-chimiques la rendent particulièrement apte à une utilisation dans l'industrie cimentière, permettant ainsi de réduire les coûts de production et l'empreinte environnementale des liants traditionnels. Ce travail ouvre des perspectives intéressantes pour une valorisation optimale de ces ressources locales dans les futurs projets de construction et de génie civil en Algérie

A decorative scroll-like frame with a black outline. The frame is rectangular with rounded corners and a vertical strip on the left side that is wider than the rest of the frame. The word "Bibliographie" is centered within the frame in a bold, black, sans-serif font.

Bibliographie

Bibliographie

- **Aïfa, T., et al. (1992).** Études géologiques et structurales de la région de Béni Saf. Mémoire de Magister, Université d'Oran, Algérie, **145 p.**
- **Belhai, D. (1996).** Carte géologique de l'Algérie. Publication scientifique, Université d'USTHB Algérie, **120 p.**
- **Belhai, D., et al. (2013).** Le volcanisme phréatomagmatique de l'Oranie : maars et tuff-rings. Article scientifique, Université d'USTHB, Algérie, **pp. 55–78.**
- **Benali, A. (1990).** Étude des formations volcaniques et pyroclastiques de la région de Béni Saf : pétrographie, composition minéralogique et intérêt économique. Thèse de Doctorat, Université d'USTHB, Algérie, **287 p.**
- **Bensalah, K. (2005).** Caractérisation géochimique et valorisation industrielle des dépôts volcaniques de Béni Saf. Mémoire de Magister, Université de Tlemcen, Algérie, **132 p.**
- **Bouillin, J. P. (1986).** La chaîne des Maghrébides, segment du système alpin péri-méditerranéen. Article scientifique, Université Pierre-et-Marie-Curie, France, **pp. 215–230.**
- **BRGM (2004).** Processus de vésiculation et classification des fragments pyroclastiques. Rapport technique, Bureau de Recherches Géologiques et Minières (BRGM), France, **74 p.**
- **Caby, R., et al. (1981).** Étude du socle paléozoïque et du métamorphisme hercynien. Article scientifique, Université de Montpellier, France, **pp. 101–126.**
- **Coulon, C. (1986).** Pétrogenèse et cristallisation fractionnée des séries alcalines sodiques. Thèse de Doctorat, Université de Clermont-Ferrand, France, **350 p.**
- **Durand-Delga, M. (1969).** Mise en place de la chaîne des Maghrébides et volcanisme de l'Ouest algérien. Thèse de Doctorat d'État, Université de Paris, France, **412 p.**
- **Durand-Delga, M. (1980).** Tectonique compressive et nappes de charriage en Algérie Nord-occidentale. Article scientifique, Université de Paris, France, **pp. 89–115.**
- **Frizon de Lamotte, D., et al. (2000).** Structuration alpine de l'Afrique du Nord et convergence des plaques. Article scientifique, Université de Cergy-Pontoise, France, **pp. 67–94.**
- **Ghyene, M. (1998).** Réactivité chimique et propriétés pouzzolaniques du verre volcanique. Mémoire de Magister, Université d'Oran, Algérie, **118 p.**
- **Glangeaud, L. (1973).** Le volcanisme tertiaire de l'Ouest algérien et son contexte géodynamique. Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, France, **390 p.**
- **Guiraud, R., & Maurin, J. C. (1992).** Zonation des domaines internes et externes de la marge africaine. Article scientifique, Université de Bourgogne, France, **pp. 141–162.**
- **Hernandez, J., & Bellon, H. (1985).** Chronologie et évolution néogène du magmatisme méditerranéen. Article scientifique, Université de Clermont-Ferrand, France, **pp. 201–224.**
- **Kadik, A. (2000).** Dynamismes éruptifs et interaction magma-environnement en Oranie. Thèse de Doctorat, Université d'Oran, Algérie, **305 p.**

Bibliographie

- **Louni-Hacini, A., et al. (1995).** Chronologie et caractérisation géochimique du volcanisme de l'Oranie. Article scientifique, Université d'USTHB, Algérie, **pp. 45–70.**
- **Moustière, P. (1974).** Structures hydromagmatiques et séries volcaniques de la Basse Tafna. Thèse de Doctorat, Université de Paris-Sud, France, **276 p.**
- **Rédaction (2012).** Formation du verre volcanique et édification des cônes stromboliens. Rapport scientifique, Institut de Géologie, France, **58 p.**
- **Savornin, J. (1952).** Géologie de l'Ouest algérien : structures et formations volcaniques. Ouvrage scientifique, Université d'Alger, Algérie, **468 p.**
- **Vila, J. M. (1980).** La chaîne alpine d'Algérie orientale et ses confins. Thèse de Doctorat d'État, Université de Paris, France, **525 p.**
- **Wildi, W. (1983).** La chaîne des Maghrébides : stratigraphie, tectonique et évolution paléogéographique. Thèse de Doctorat, Université de Genève, Suisse, **440 p.**

Normes techniques citées

- ASTM C618. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International.
- ASTM N°200. Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate. ASTM International.



Les Annexes

Les Annexes

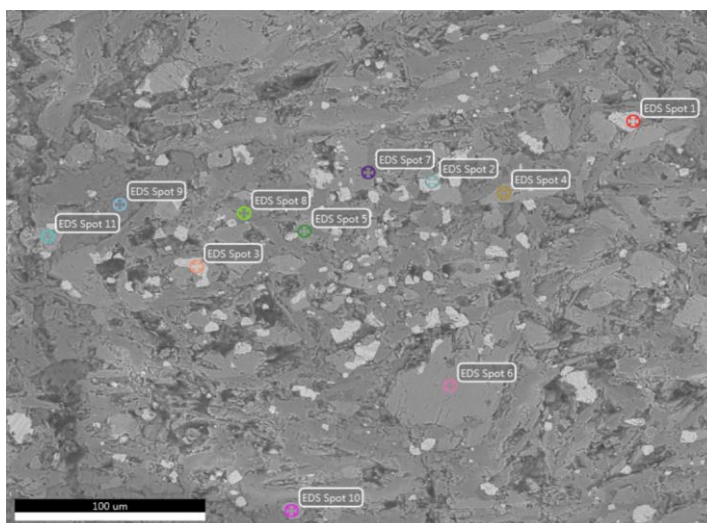
1-Les annexes du MEB

Auteur : STRATIGRAPHIE DLAB SONATRACH

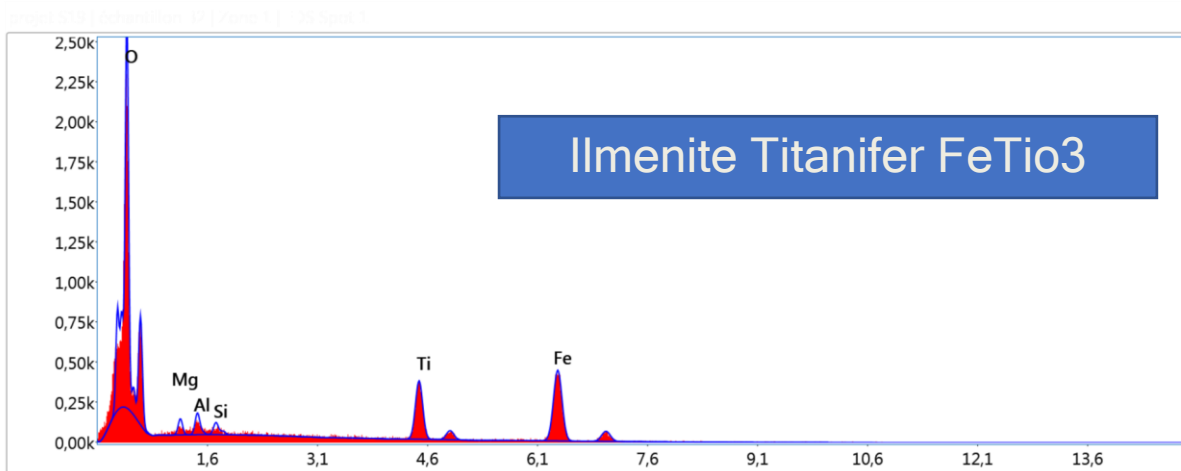
Création : 05/07/2026 11 :39 :19

Nom de l'échantillon : B2

Zone 1



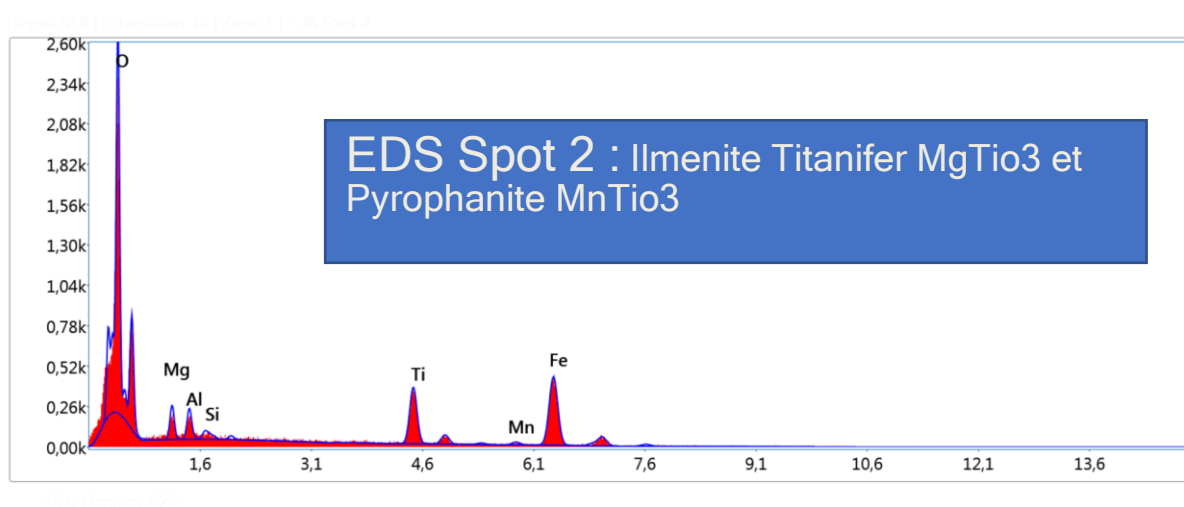
EDS Spot 1



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	39.84	67.32	9.89
MgK	1.62	1.80	16.47
AlK	1.88	1.88	13.08
SiK	0.96	0.92	15.51
TiK	13.71	7.74	5.08
FeK	41.99	20.33	4.39

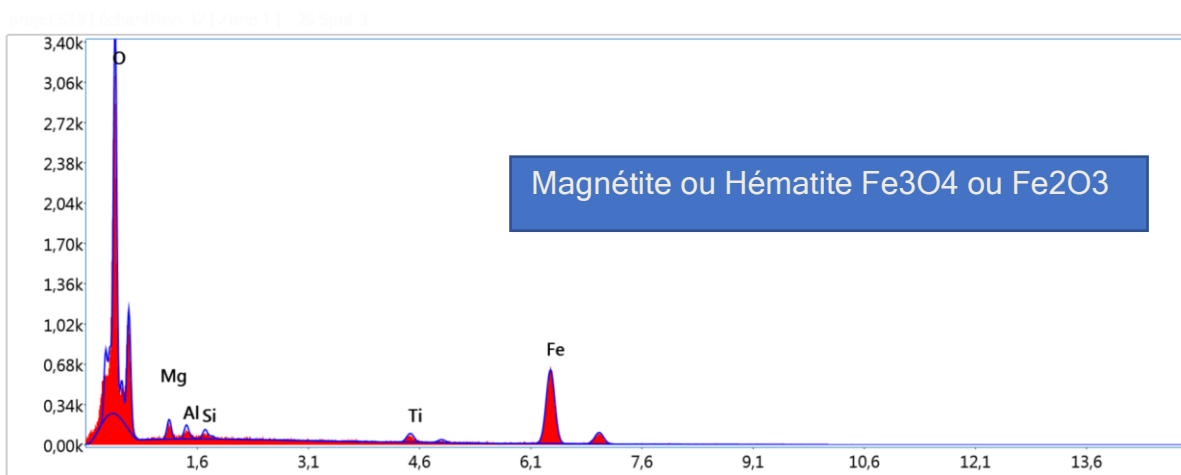
EDS Spot 2



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
N K	8.78	15.97	12.12
O K	34.18	54.44	10.57
MgK	2.91	3.05	12.26
AlK	2.27	2.14	11.36
SiK	0.00	0.00	99.99
TiK	11.68	6.22	5.29
V K	0.90	0.45	34.46
MnK	1.10	0.51	33.62
FeK	35.62	16.25	4.38
CoK	1.50	0.65	25.79
RbL	1.04	0.31	22.86

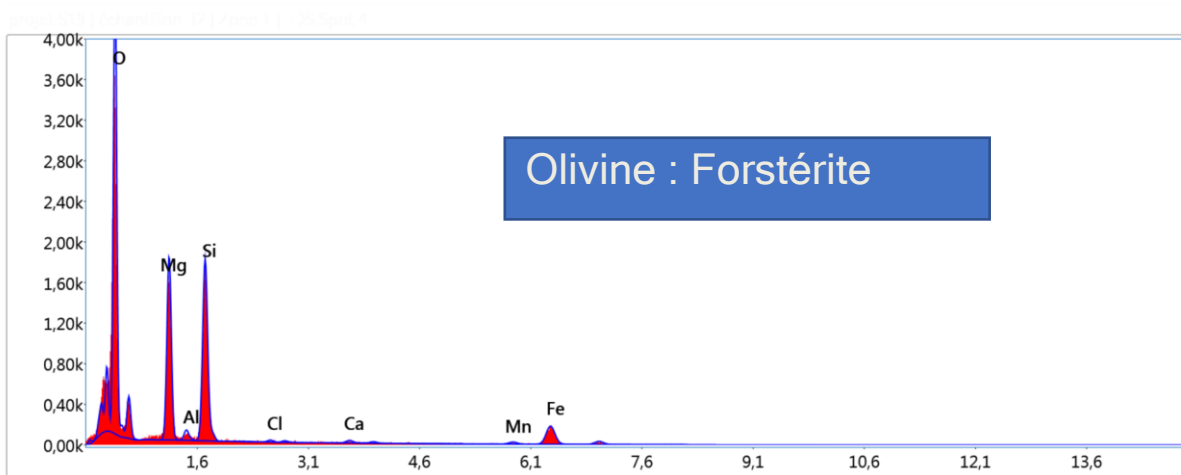
EDS Spot 3:



Résultats quantitatifs intelligents

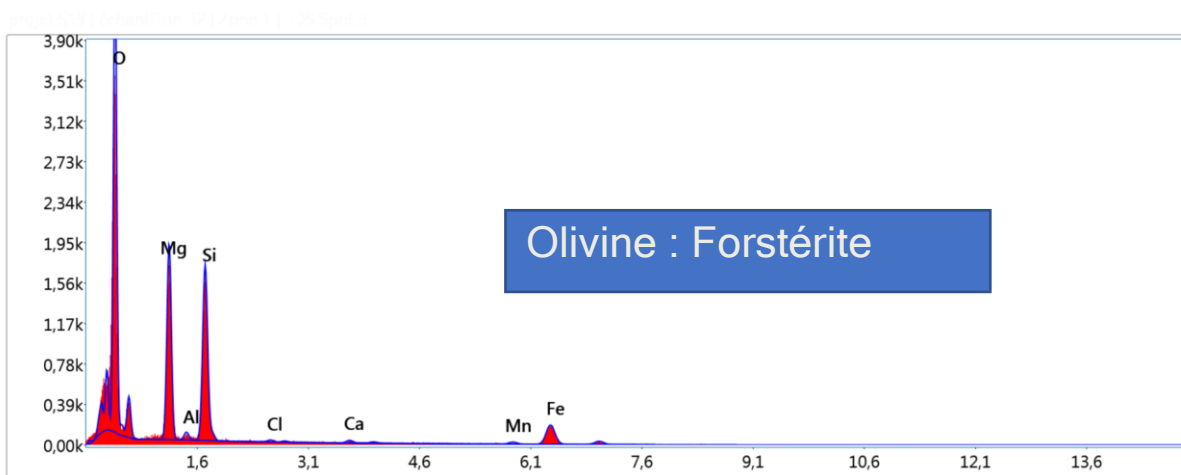
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	35.75	63.75	8.32
MgK	2.71	3.18	13.22
AlK	1.65	1.75	15.60
SiK	1.00	1.02	14.47
TiK	2.50	1.49	12.87
FeK	56.39	28.81	3.82

EDS Spot 4:



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.36	62.65	8.41
MgK	17.91	15.93	7.18
AlK	1.10	0.88	15.05
SiK	18.18	13.99	5.86
ClK	0.33	0.20	46.75
CaK	0.65	0.35	30.12
MnK	1.29	0.51	27.62
FeK	14.18	5.49	5.69

EDS Spot 5:

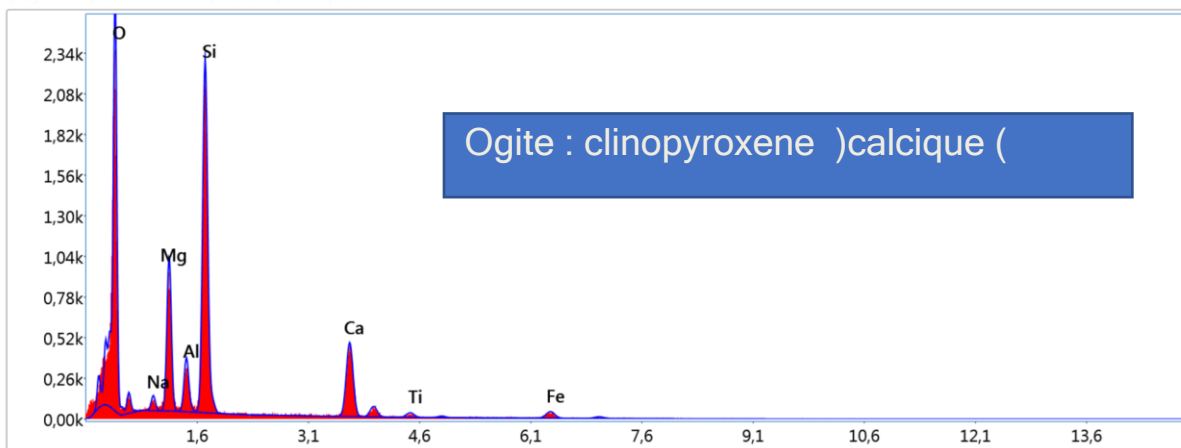


Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.04	62.41	8.39
MgK	18.82	16.79	7.19
AlK	0.83	0.66	17.35
SiK	17.33	13.38	6.00
ClK	0.29	0.18	52.00
CaK	0.64	0.35	33.93
MnK	1.21	0.48	29.00
FeK	14.84	5.76	5.49

EDS Spot 6

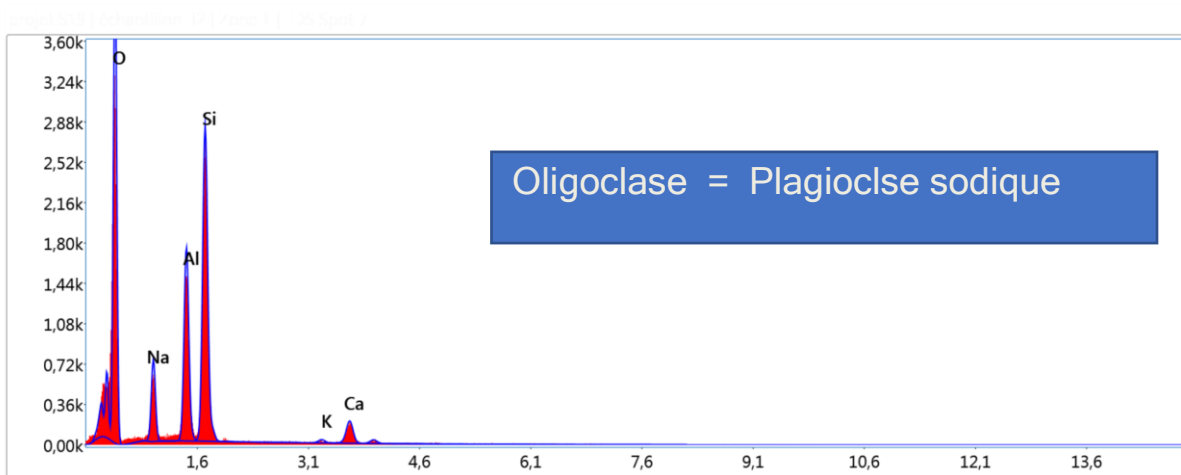
Image 339 (Échantillon P [Zone 1] - SS Spot 6)



100% Element: O2S

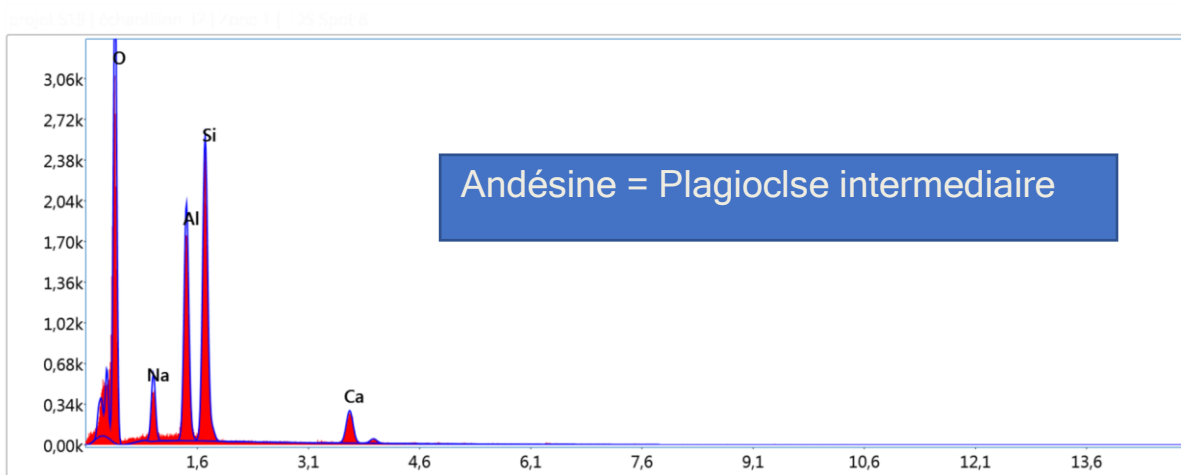
Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.08	61.87	9.96
NaK	1.40	1.31	16.86
MgK	9.56	8.45	7.43
AlK	3.44	2.74	8.55
SiK	22.18	16.96	5.25
CaK	12.79	6.85	4.41
TiK	1.08	0.49	25.91
FeK	3.47	1.34	12.90

EDS Spot 7



Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.31	62.70	9.07
NaK	8.01	7.09	8.73
AlK	13.45	10.14	5.75
SiK	24.07	17.44	5.28
KK	0.53	0.28	28.61
CaK	4.64	2.35	6.44

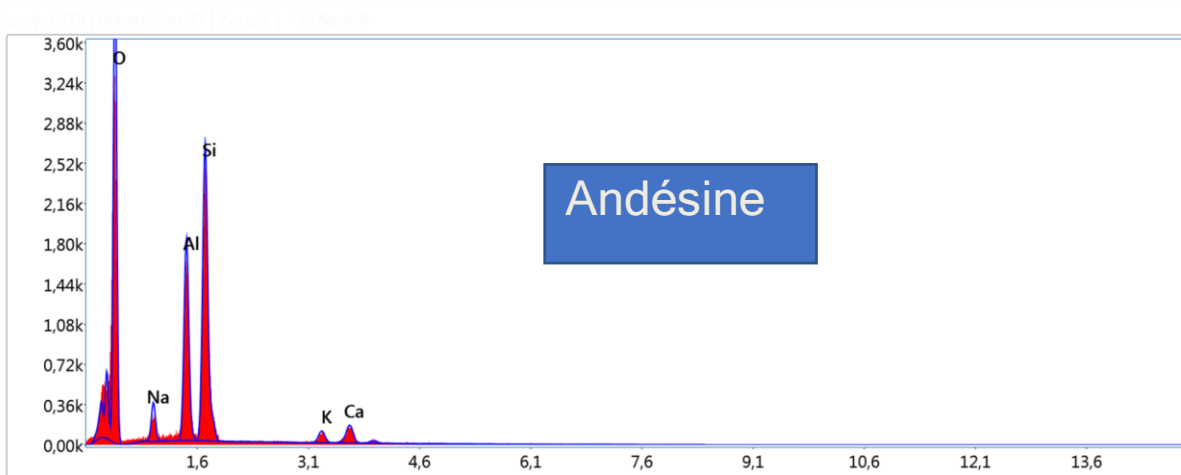
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.06	62.78	9.24
NaK	6.38	5.68	9.01
AlK	15.64	11.87	5.61
SiK	22.44	16.36	5.39
CaK	6.48	3.31	5.59

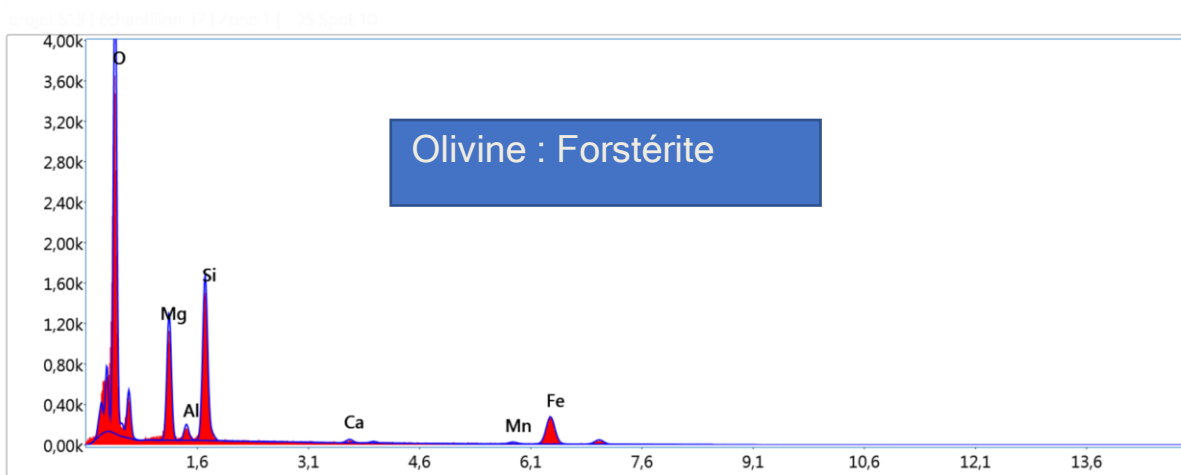
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	52.57	66.17	9.08
NaK	4.01	3.51	9.95
AlK	14.32	10.69	5.59
SiK	23.26	16.67	5.23
K K	2.01	1.03	13.34
CaK	3.84	1.93	7.91

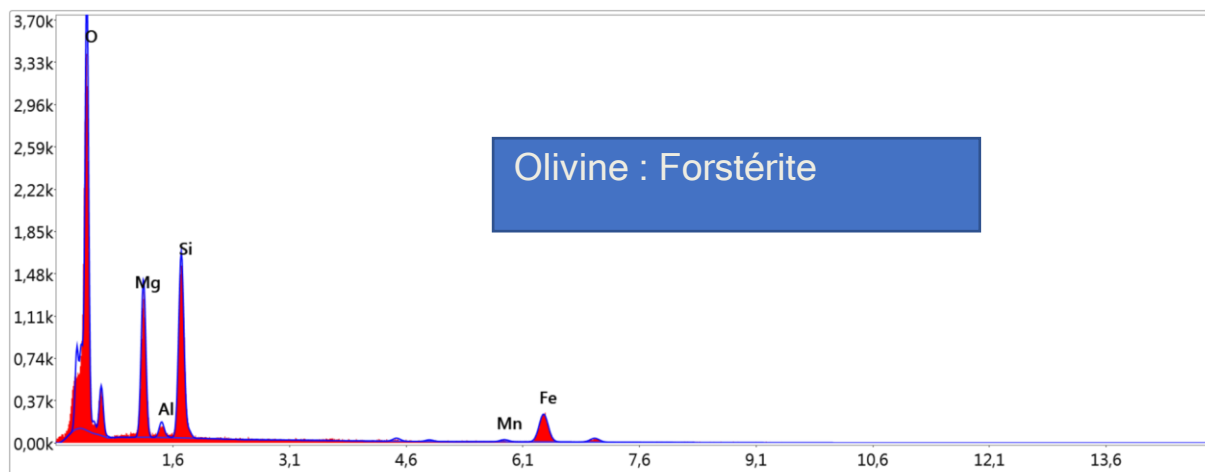
EDS Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.07	64.33	8.32
MgK	13.10	12.04	7.93
AlK	1.69	1.40	12.18
SiK	16.26	12.93	6.02
CaK	0.85	0.47	25.26
MnK	1.12	0.45	31.40
FeK	20.93	8.37	5.04

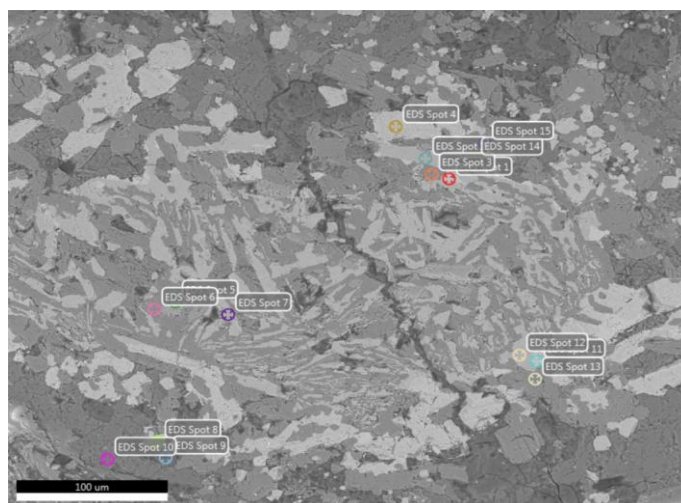
EDS Spot 11



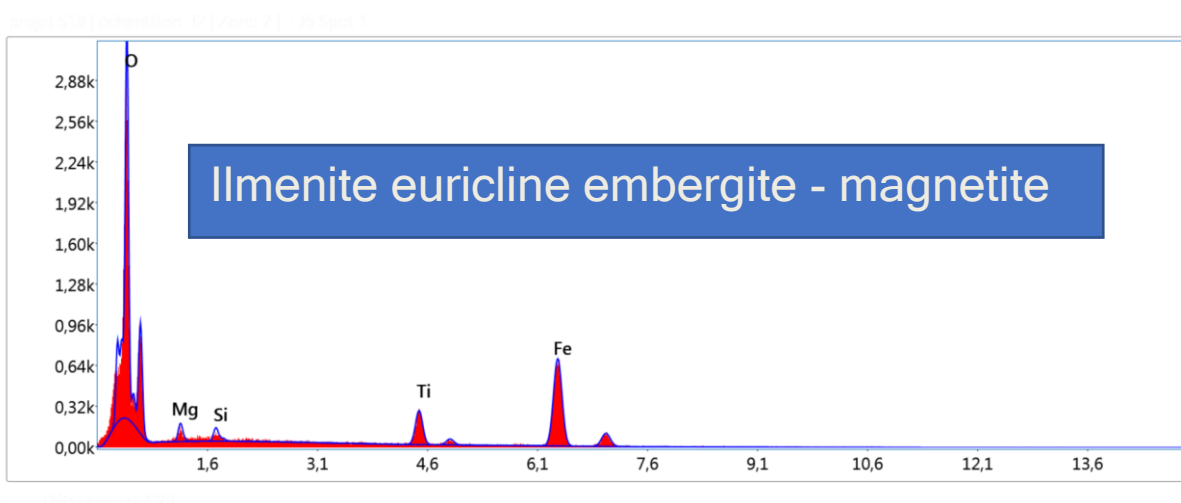
Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	42.65	60.65	8.53
MgK	15.34	14.36	7.79
AlK	1.59	1.34	12.88
SiK	17.69	14.33	6.06
TiK	0.92	0.44	22.37
MnK	1.23	0.51	30.34
FeK	20.57	8.38	5.28

Zone 2

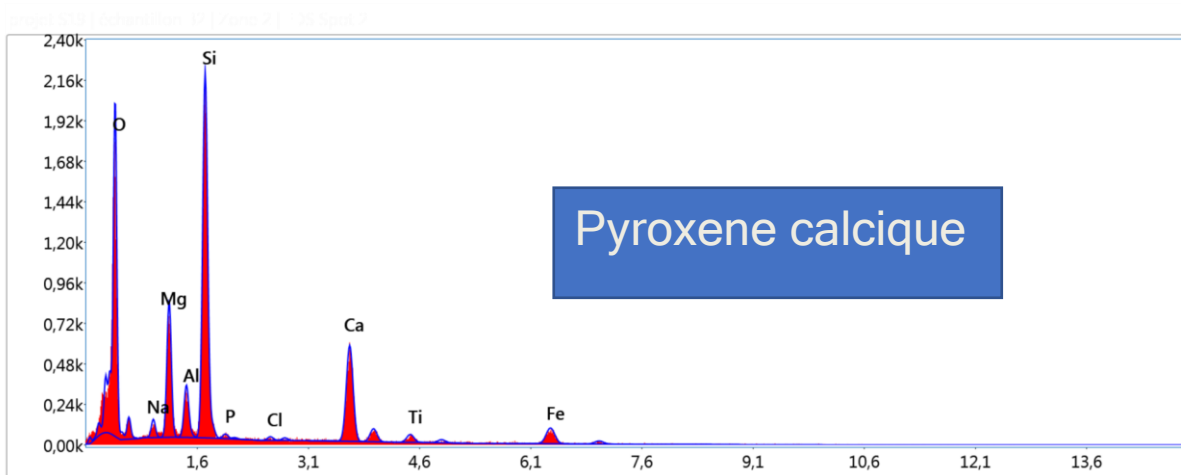


EDS Spot 1



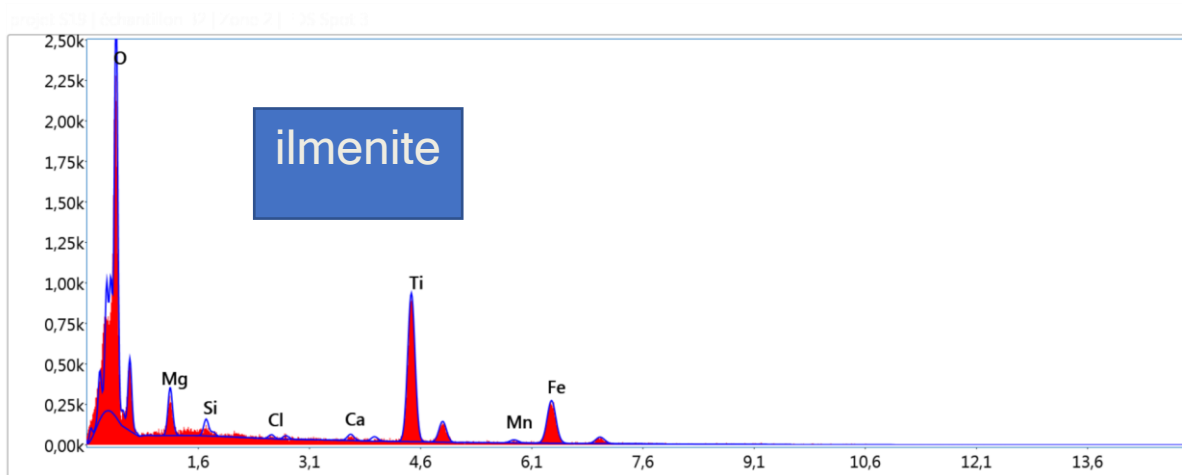
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	34.99	63.57	9.03
MgK	1.97	2.35	13.87
SiK	1.13	1.16	14.27
TiK	8.05	4.89	6.32
FeK	53.87	28.03	3.81

EDS Spot 2



Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	39.19	56.41	10.36
NaK	1.66	1.66	15.23
MgK	8.27	7.83	7.79
AlK	3.19	2.72	8.78
SiK	21.72	17.80	5.39
P K	0.41	0.30	40.39
ClK	0.36	0.23	43.57
CaK	15.57	8.95	4.34
TiK	1.75	0.84	15.49
FeK	7.90	3.26	8.16

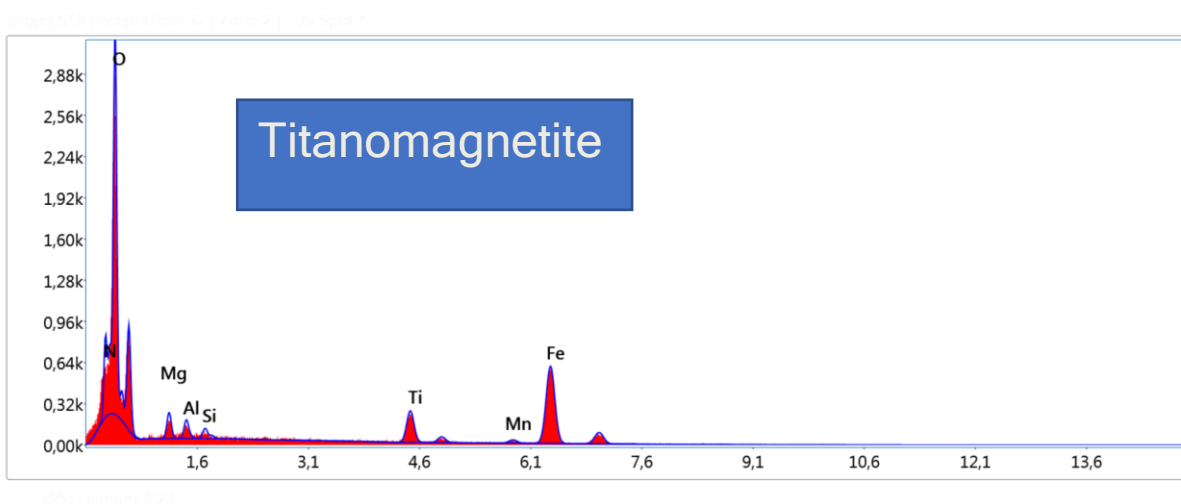
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.78	72.02	10.71
MgK	3.23	3.27	10.53
SiK	0.93	0.82	12.92
ClK	0.33	0.23	35.65
CaK	0.79	0.48	18.72
TiK	27.66	14.23	3.54
MnK	1.11	0.50	33.24
FeK	19.17	8.45	5.28

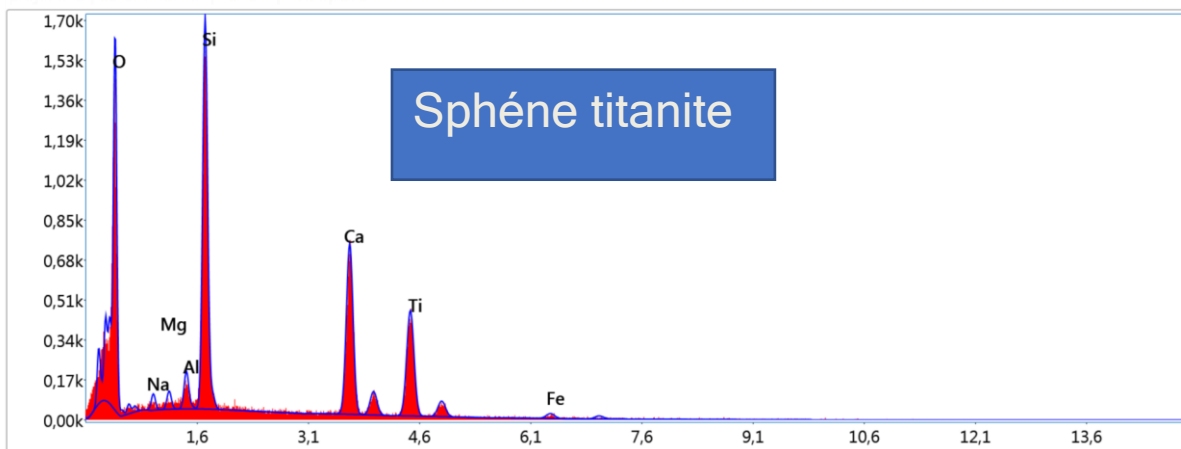
EDS Spot 4



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
N K	3.60	6.91	15.80
O K	36.02	60.51	9.50
MgK	2.70	2.99	12.65
AlK	1.67	1.67	12.81
SiK	0.82	0.79	15.53
TiK	7.29	4.09	6.38
MnK	1.46	0.71	27.57
FeK	46.42	22.34	3.93

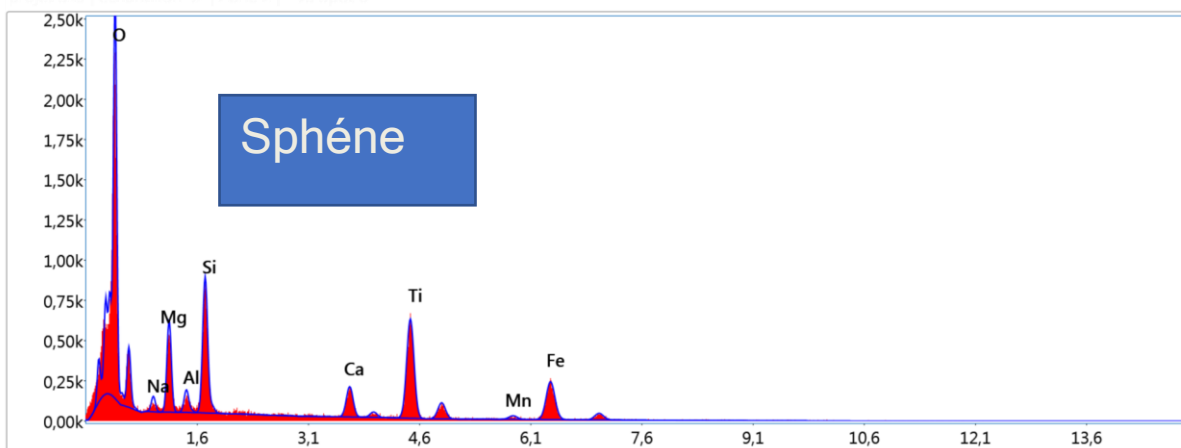
EDS Spot 5



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	43.84	64.00	11.06
NaK	1.15	1.17	18.28
MgK	0.82	0.79	15.61
AlK	1.54	1.34	11.53
SiK	15.58	12.96	5.30
CaK	18.75	10.93	3.94
TiK	16.57	8.09	4.56
FeK	1.74	0.73	18.88

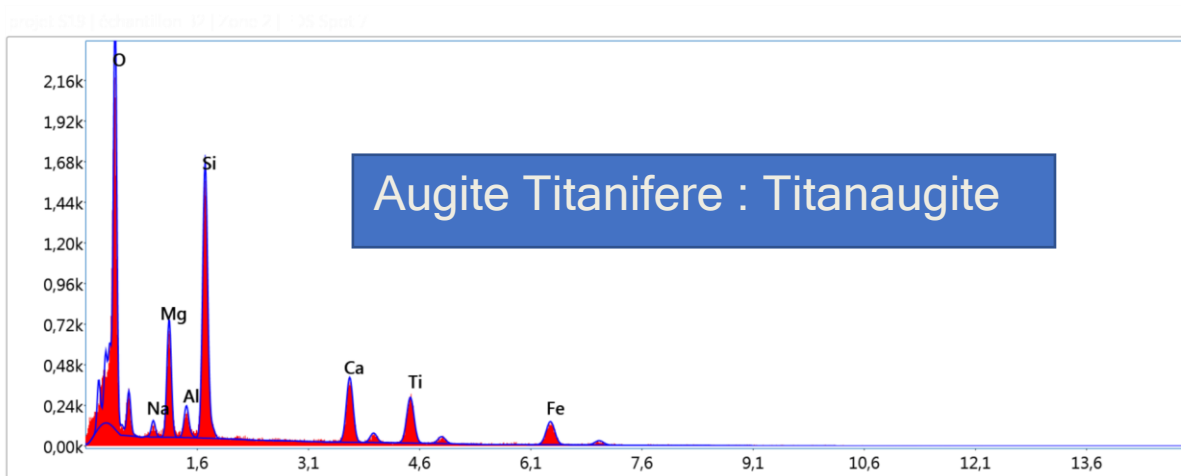
EDS Spot 6



Résultats quantitatifs intelligents

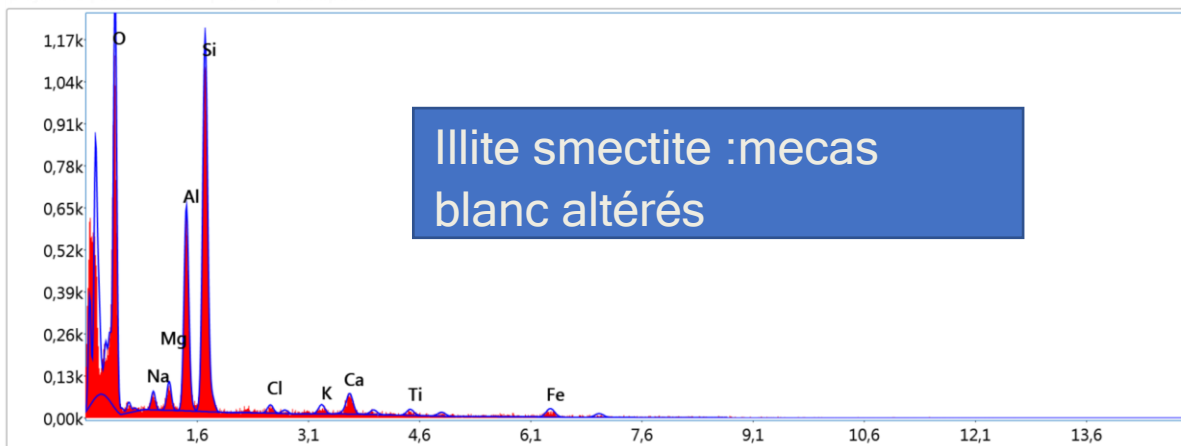
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	42.41	64.56	10.29
NaK	1.58	1.67	18.10
MgK	5.93	5.94	9.42
AlK	1.36	1.23	13.07
SiK	7.60	6.59	6.61
CaK	4.09	2.48	7.80
TiK	18.74	9.53	4.02
MnK	1.31	0.58	28.58
FeK	16.99	7.41	5.42

EDS Spot 7



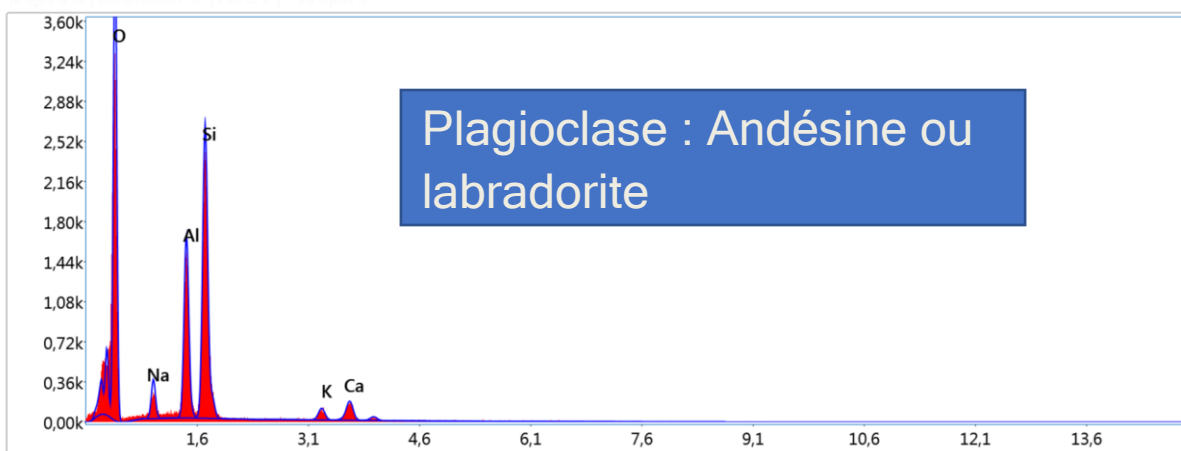
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	44.14	63.10	10.18
NaK	1.55	1.54	17.49
MgK	7.22	6.80	8.27
AlK	1.88	1.60	11.03
SiK	15.54	12.65	5.70
CaK	9.55	5.45	5.00
TiK	9.24	4.41	5.66
FeK	10.89	4.46	6.56

EDS Spot 8



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	44.01	59.60	10.05
NaK	1.81	1.71	17.99
MgK	1.93	1.72	13.17
AlK	13.12	10.54	6.66
SiK	26.31	20.30	5.77
ClK	1.00	0.61	33.45
K K	1.42	0.79	23.25
CaK	3.93	2.13	12.67
TiK	1.56	0.70	21.99
FeK	4.92	1.91	13.58

EDS Spot 9

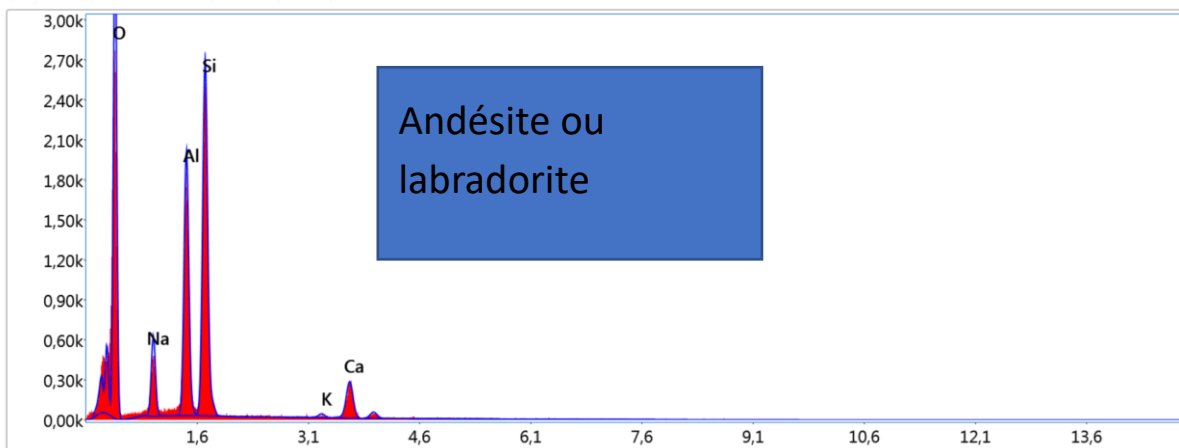


120k Element: O21

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	53.34	66.92	9.08
NaK	4.12	3.59	9.98
AlK	13.14	9.78	5.67
SiK	23.20	16.58	5.18
K K	2.03	1.04	12.99
CaK	4.17	2.09	6.78

EDS Spot 10

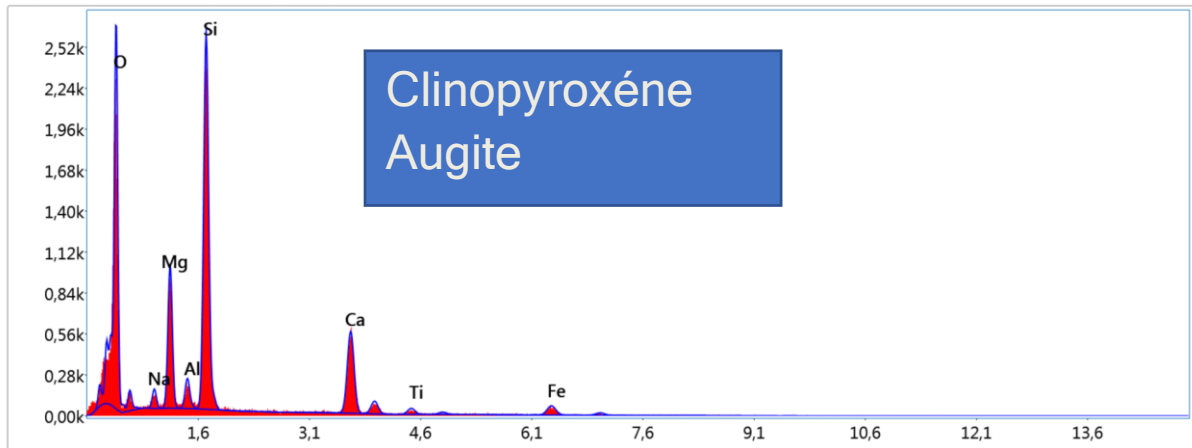
1000001 (Sample: P [Zinc?]) - 05 Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	47.07	60.95	9.35
NaK	6.70	6.03	8.89
AlK	15.64	12.01	5.60
SiK	23.50	17.33	5.37
K K	0.56	0.30	28.25
CaK	6.54	3.38	5.21

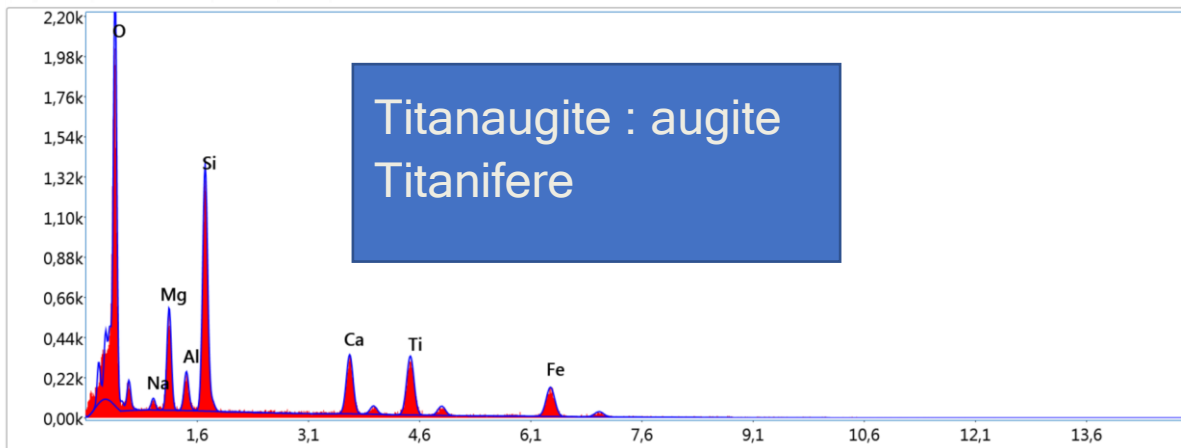
EDS Spot 11



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	44.06	60.44	10.07
NaK	1.79	1.71	13.48
MgK	8.91	8.05	7.54
AlK	1.91	1.55	10.52
SiK	23.13	18.07	5.15
CaK	13.98	7.66	4.15
TiK	1.39	0.64	15.59
FeK	4.83	1.90	9.98

EDS Spot 12

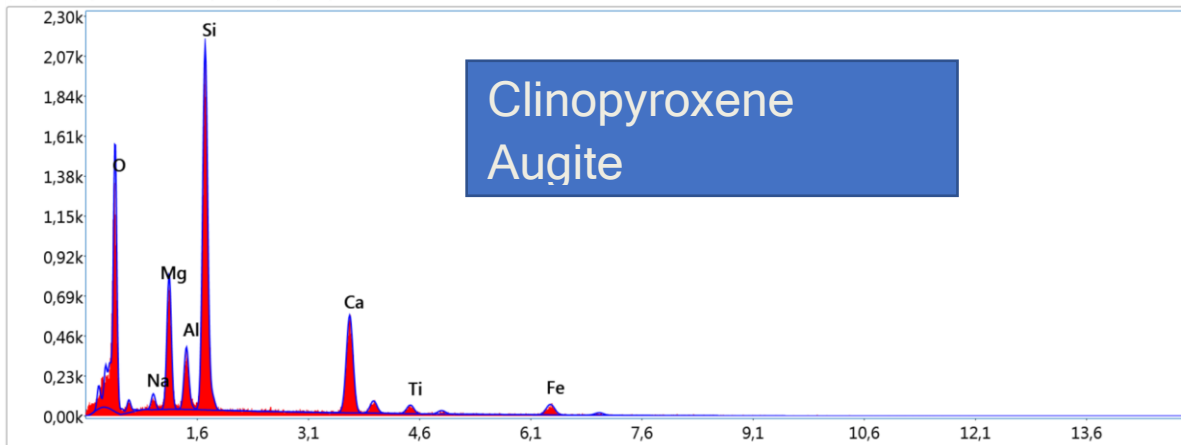
Spot12 [44x44mm] (bar. P) [Zone 2] - EDS Spot12



100% Element CP1

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	43.65	63.63	10.24
NaK	1.12	1.13	18.92
MgK	6.24	5.99	8.81
AlK	2.27	1.96	9.84
SiK	13.55	11.25	5.87
CaK	8.36	4.86	5.47
TiK	11.46	5.58	5.03
FeK	13.35	5.58	6.35

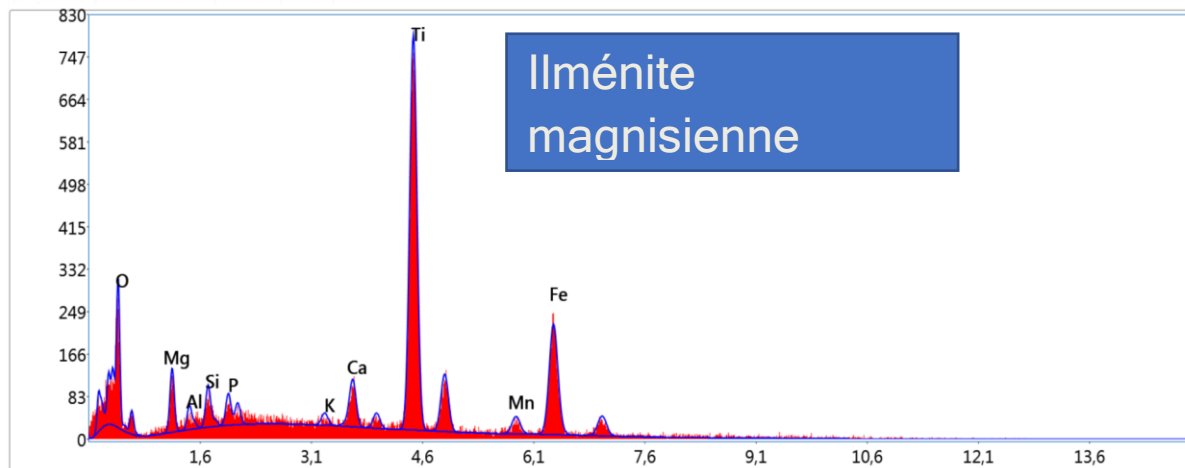
EDS Spot 13



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.89	53.62	10.62
NaK	1.51	1.53	16.92
MgK	8.71	8.33	7.67
AlK	4.08	3.52	8.47
SiK	23.53	19.48	5.34
CaK	17.35	10.07	4.22
TiK	2.12	1.03	13.18
FeK	5.80	2.41	10.30

EDS Spot 14

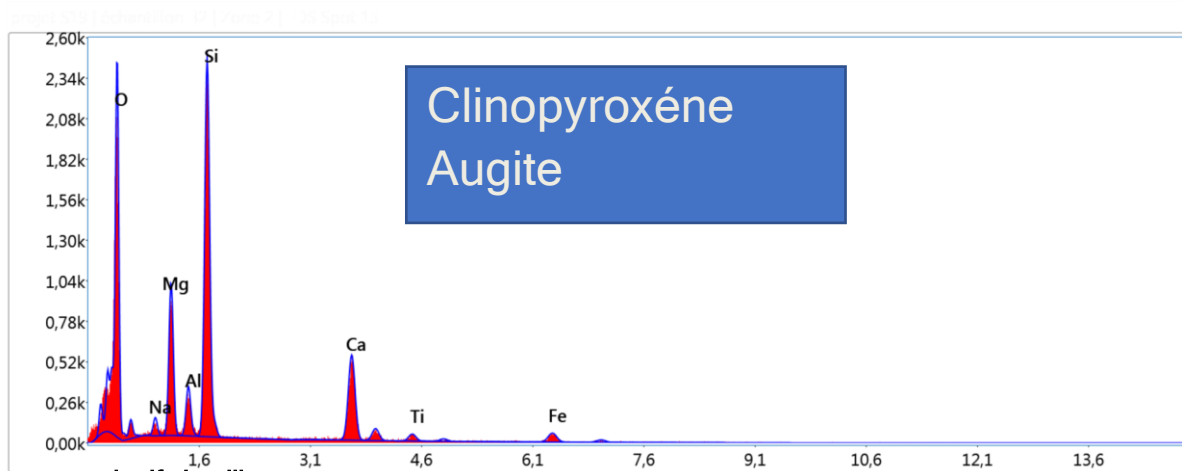
Image 1231 (échantillon: P) Zone 21 - 25 Spot 14



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	15.22	34.59	14.17
MgK	2.70	4.05	13.17
AlK	0.88	1.19	17.89
SiK	1.40	1.82	14.71
P K	1.31	1.54	11.40
K K	0.75	0.69	33.69
CaK	3.45	3.13	10.62
TiK	42.14	32.01	3.81
MnK	3.73	2.47	21.63
FeK	28.41	18.51	5.66

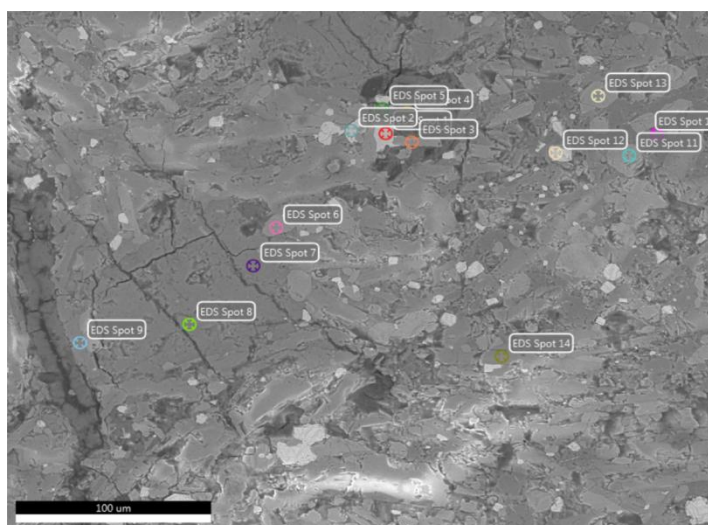
EDS Spot 15



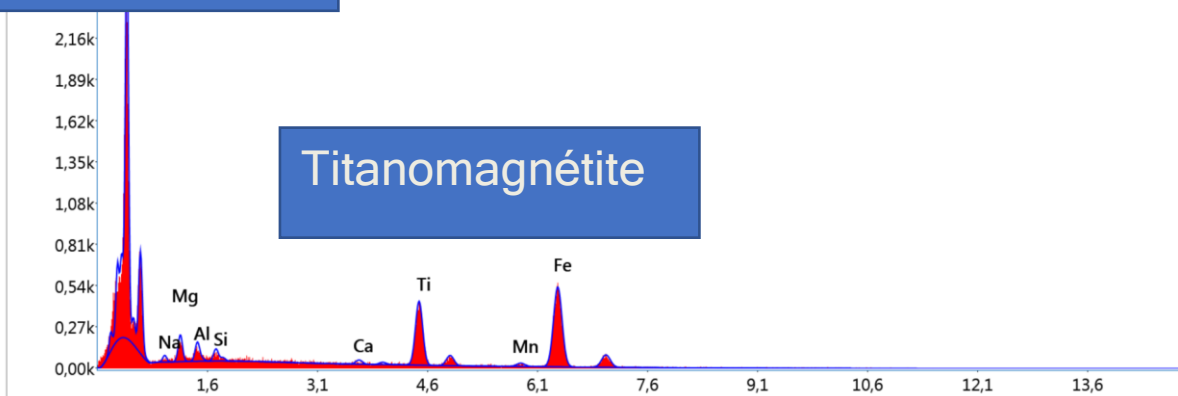
Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	42.85	59.19	10.15
NaK	1.63	1.57	14.92
MgK	9.22	8.39	7.49
AlK	3.05	2.50	8.63
SiK	22.82	17.96	5.23
CaK	14.22	7.84	4.25
TiK	1.57	0.72	14.60
FeK	4.63	1.83	9.83

Zone 3

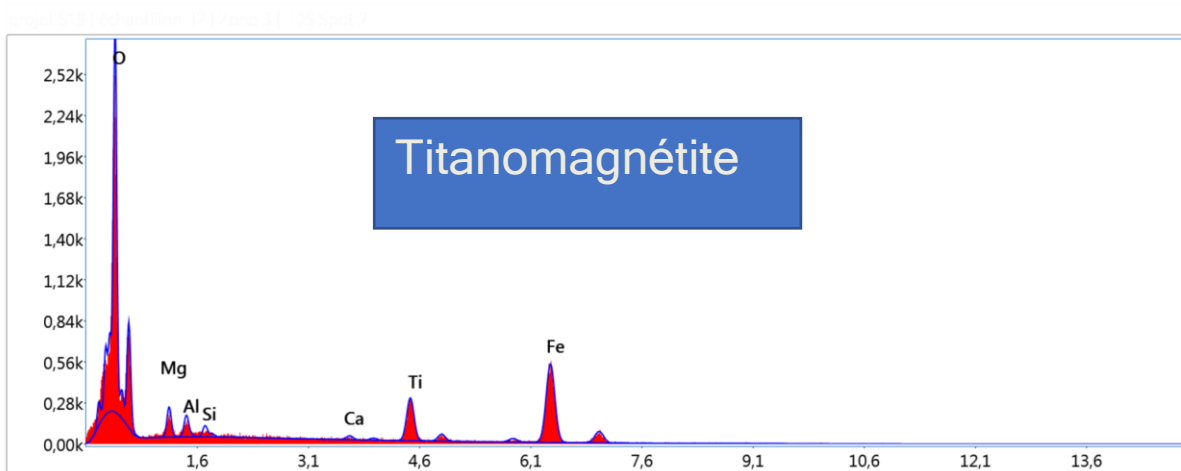


EDS Spot 1



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.80	63.86	9.90
NaK	0.99	1.20	27.16
MgK	2.42	2.76	12.86
AlK	1.50	1.55	13.26
SiK	0.86	0.85	15.31
CaK	0.65	0.45	35.69
TiK	13.33	7.73	5.02
MnK	1.38	0.70	31.42
FeK	42.05	20.90	4.18

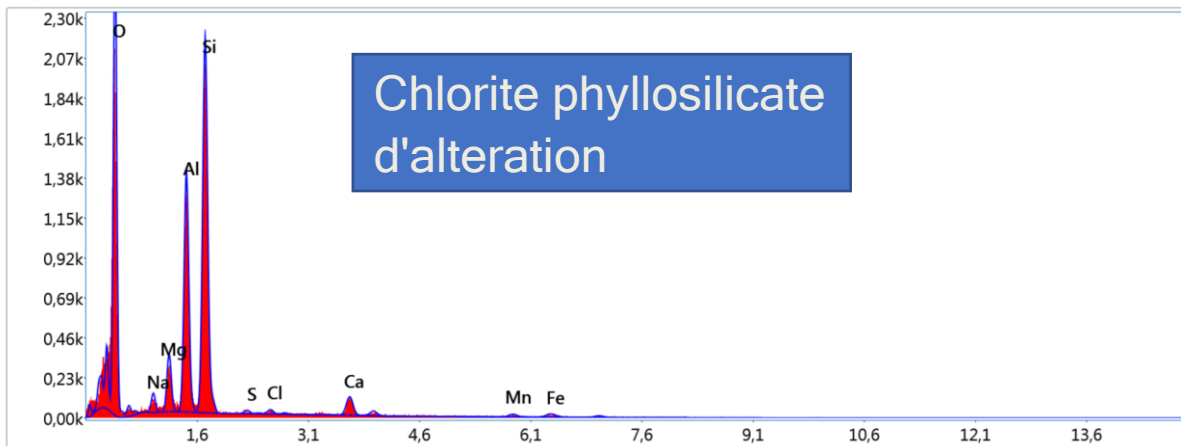
EDS Spot 2



Résultats quantitatifs intelligents

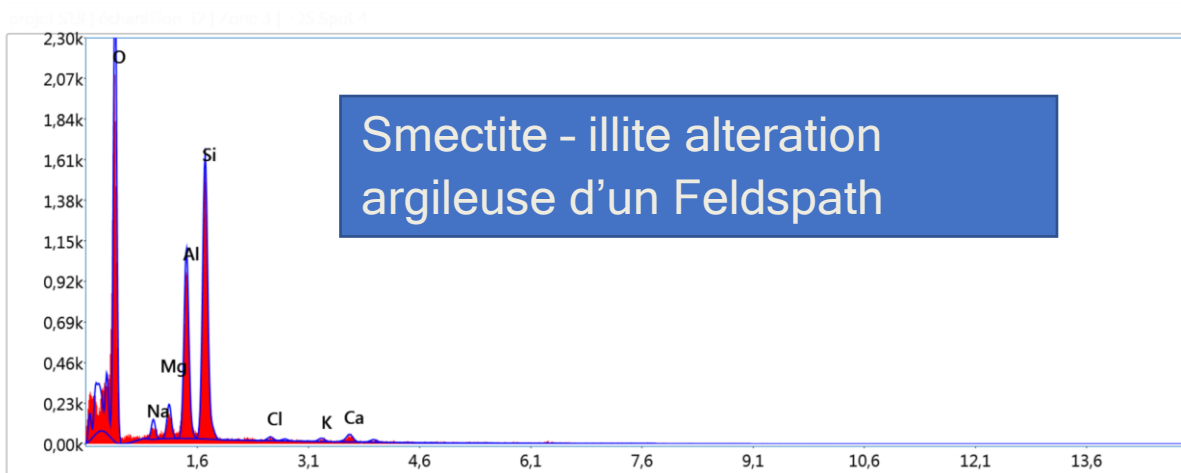
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.00	63.30	9.61
MgK	3.08	3.56	12.58
AlK	1.92	2.00	12.87
SiK	0.89	0.89	15.53
CaK	0.69	0.48	35.43
TiK	9.81	5.76	6.08
MnK	1.60	0.82	27.35
FeK	46.02	23.18	4.07

EDS Spot 3



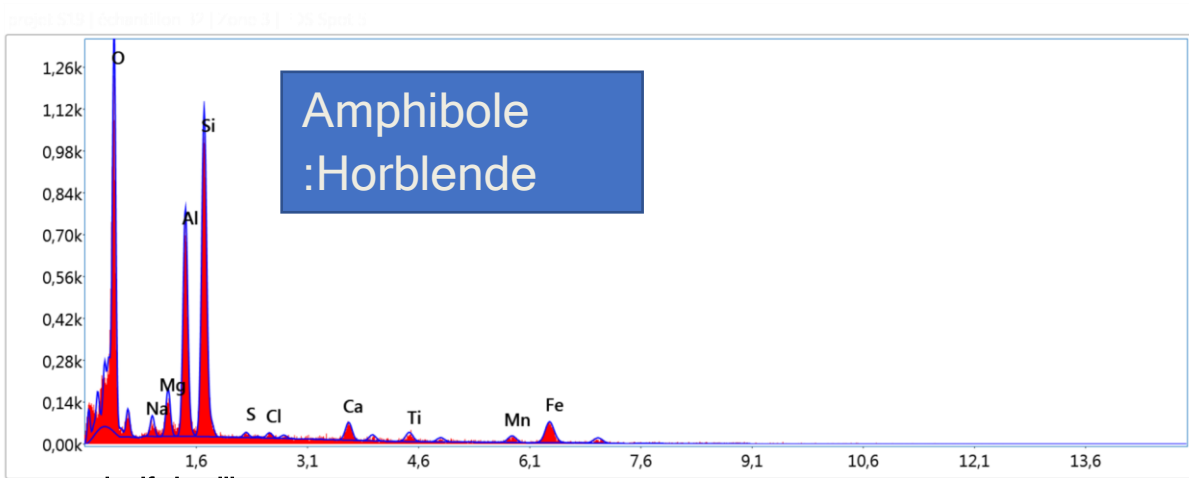
Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	45.14	59.60	9.37
NaK	1.79	1.65	13.40
MgK	3.70	3.21	8.59
AlK	15.23	11.92	5.89
SiK	26.63	20.03	5.44
S K	0.36	0.24	43.58
ClK	0.53	0.32	33.74
CaK	3.57	1.88	8.57
MnK	1.30	0.50	27.91
FeK	1.74	0.66	22.25

EDS Spot 4



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.81	65.03	9.12
NaK	2.30	2.01	13.23
MgK	2.76	2.28	9.82
AlK	15.00	11.17	5.94
SiK	25.08	17.93	5.54
ClK	0.57	0.32	38.96
K K	0.66	0.34	31.31
CaK	1.83	0.92	15.25

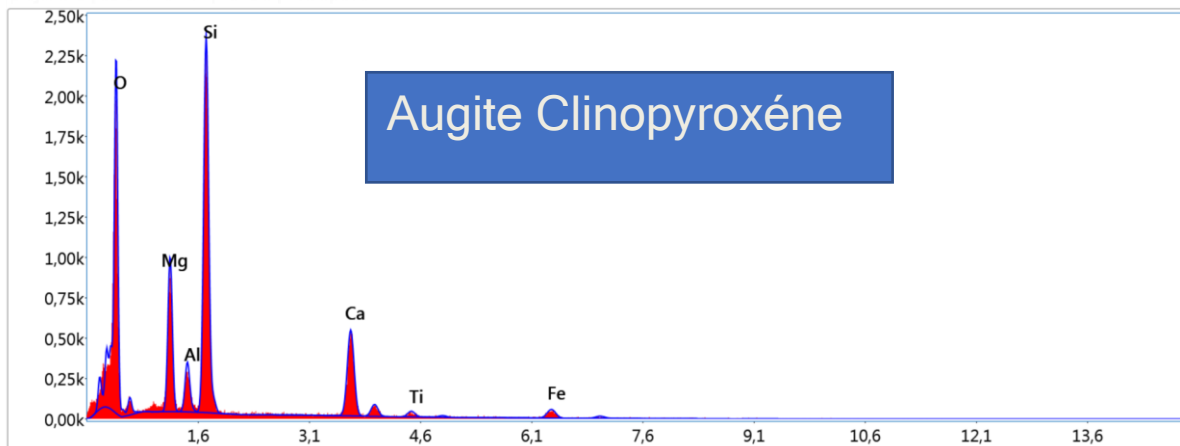
EDS Spot 5



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.30	54.24	9.89
NaK	2.05	2.08	17.80
MgK	3.16	3.03	11.31
AlK	14.50	12.50	6.93
SiK	22.47	18.62	6.17
S K	0.51	0.37	43.44
ClK	0.60	0.39	43.61
CaK	3.14	1.82	11.78
TiK	2.13	1.03	16.54
MnK	2.94	1.24	23.81
FeK	11.21	4.67	8.18

EDS Spot 6

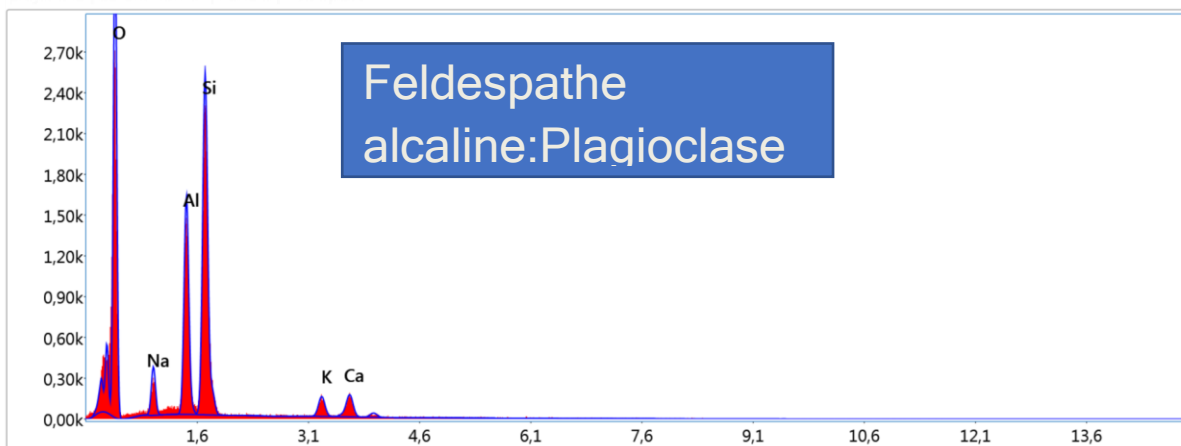


Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	42.81	59.34	10.24
MgK	9.57	8.73	7.42
AlK	3.18	2.61	8.68
SiK	23.56	18.60	5.22
CaK	14.91	8.25	4.35
TiK	1.33	0.62	23.53
FeK	4.64	1.84	10.53

EDS Spot 7

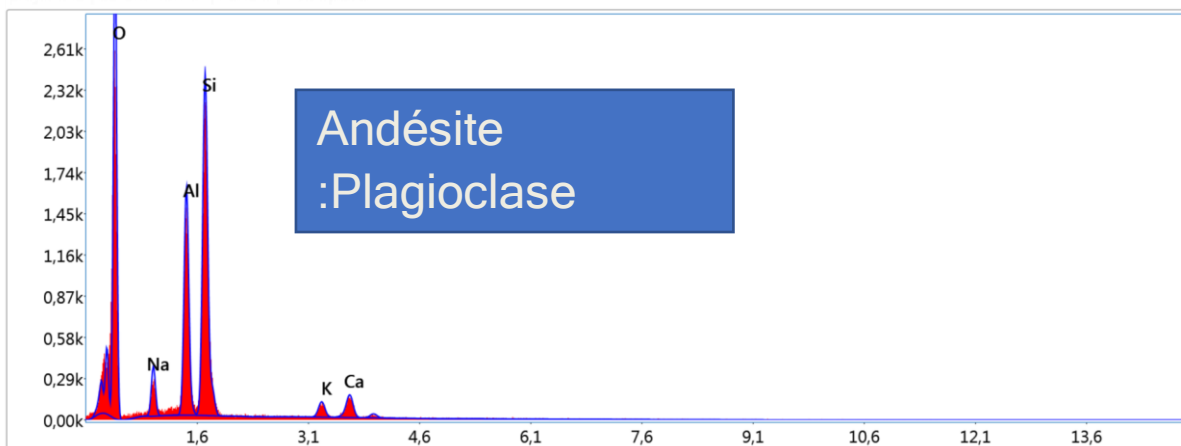
sample: 57 | detection: P [Zps.3] | 75 Spot 7



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.12	64.10	9.32
NaK	4.47	3.98	9.82
AlK	13.90	10.54	5.66
SiK	24.07	17.54	5.23
K K	3.11	1.63	10.37
CaK	4.34	2.22	7.43

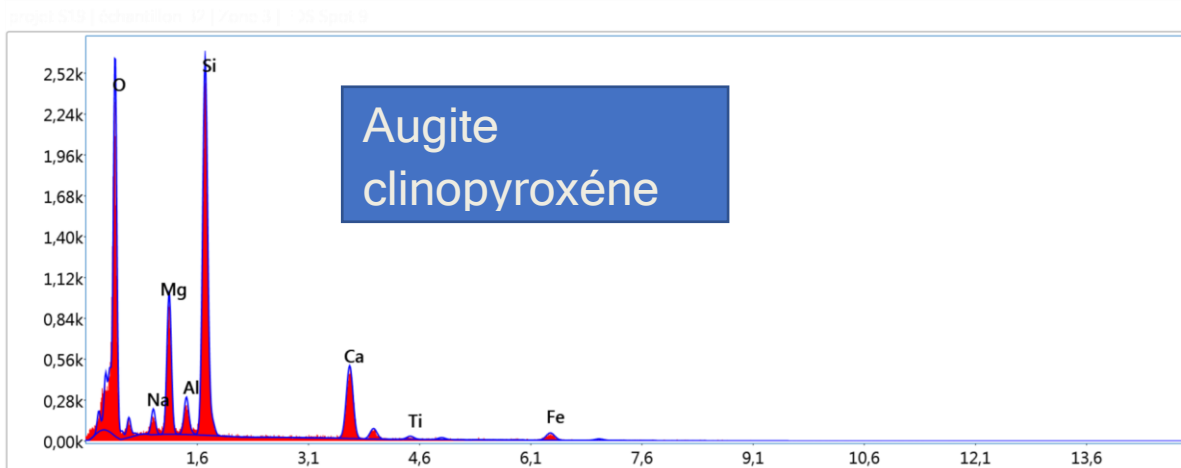
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.46	63.39	9.33
NaK	4.62	4.12	9.78
AlK	14.61	11.10	5.64
SiK	24.41	17.82	5.28
K K	2.42	1.27	13.20
CaK	4.48	2.29	7.36

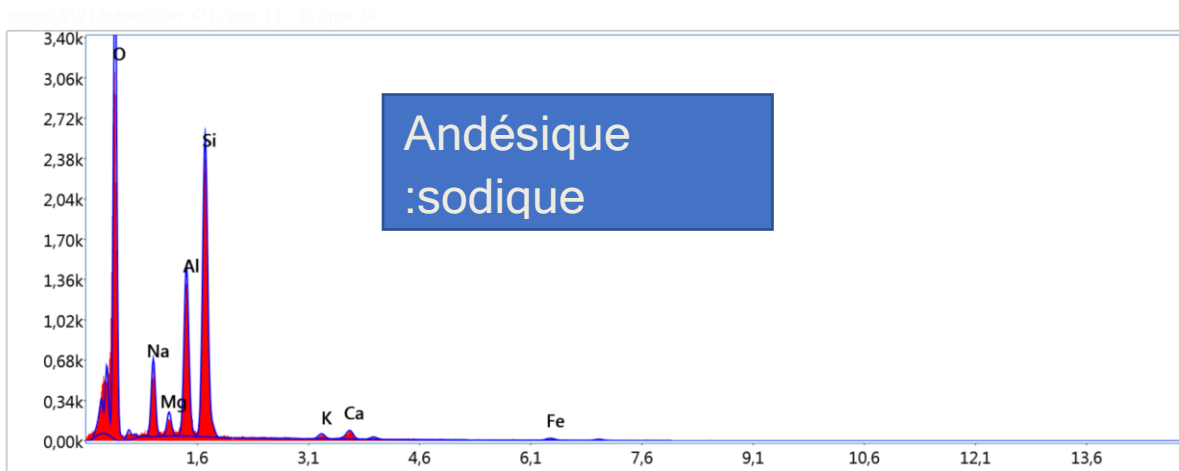
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	43.90	59.73	10.00
NaK	2.41	2.29	12.73
MgK	9.17	8.21	7.48
AlK	2.47	1.99	9.04
SiK	24.23	18.78	5.16
CaK	13.06	7.09	4.41
TiK	0.76	0.34	25.45
FeK	4.01	1.56	11.67

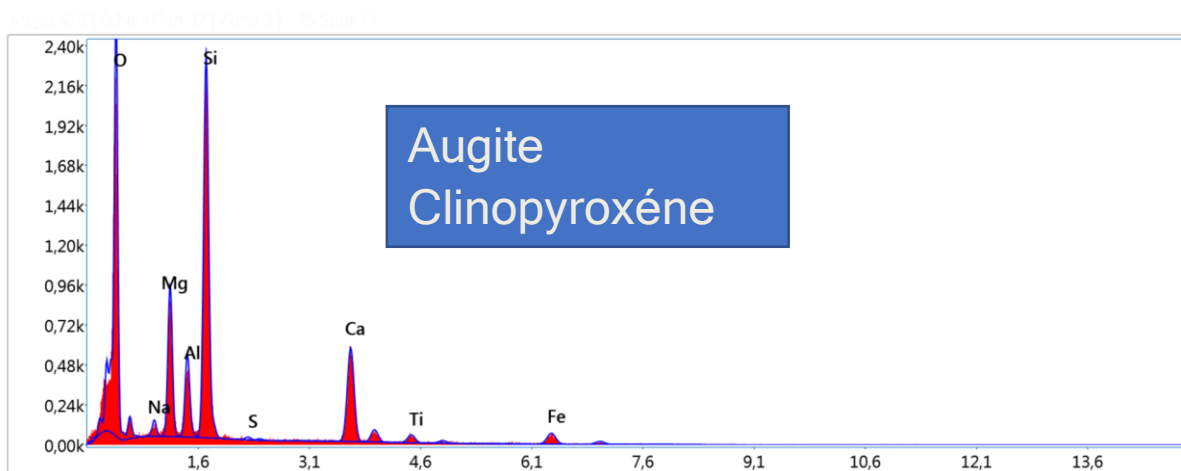
EDS Spot 10



120kV Magneton 5.21

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	48.79	62.08	8.85
NaK	8.10	7.17	8.79
MgK	1.88	1.57	10.72
AlK	12.73	9.61	6.05
SiK	24.34	17.64	5.37
K K	0.91	0.47	21.39
CaK	1.92	0.97	11.14
FeK	1.33	0.48	20.64

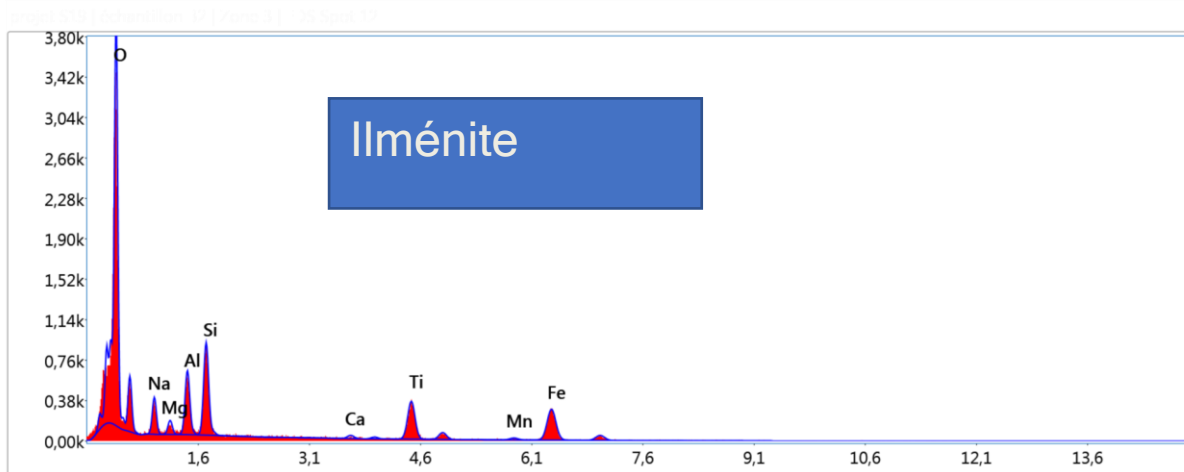
EDS Spot 11



Résultats quantitatifs intelligents

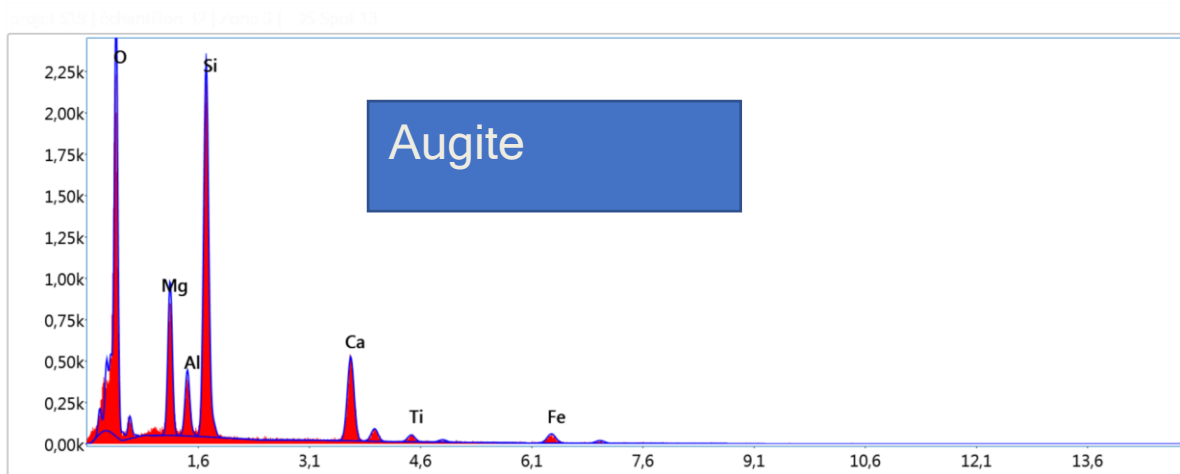
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	43.58	60.12	10.11
NaK	1.34	1.29	16.91
MgK	8.35	7.58	7.58
AlK	4.58	3.74	7.82
SiK	21.10	16.58	5.31
S K	0.22	0.15	60.10
CaK	14.09	7.76	4.31
TiK	1.61	0.74	14.91
FeK	5.12	2.02	8.39

EDS Spot 12



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.24	66.94	9.33
NaK	5.64	5.68	11.43
MgK	1.40	1.34	15.17
AlK	5.74	4.93	8.17
SiK	7.99	6.59	6.80
CaK	0.68	0.39	23.59
TiK	10.50	5.08	4.89
MnK	1.05	0.44	32.59
FeK	20.76	8.61	5.03

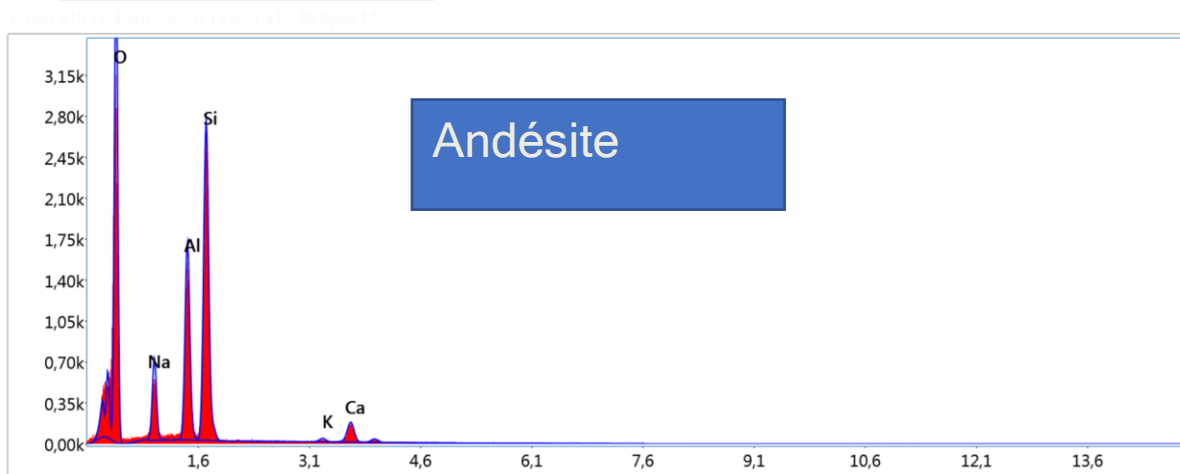
EDS Spot 13



Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	45.63	62.05	10.05
MgK	8.93	7.99	7.48
AlK	3.90	3.15	8.31
SiK	21.95	17.00	5.25
CaK	13.52	7.34	4.40
TiK	1.50	0.68	17.00
FeK	4.58	1.78	9.64

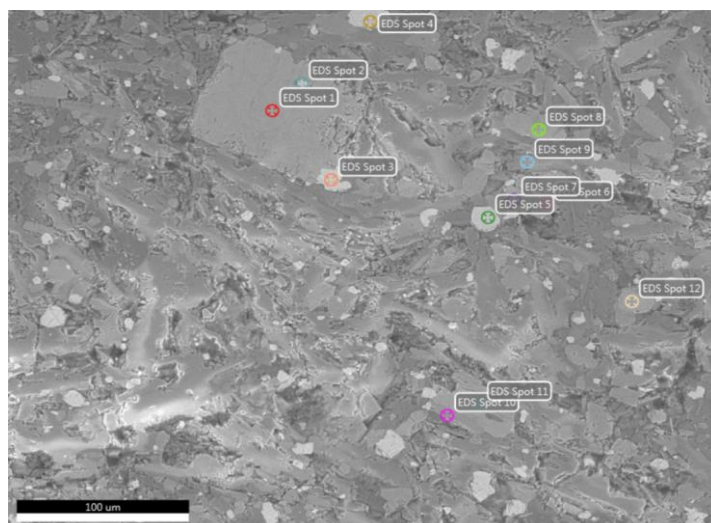
EDS Spot 14



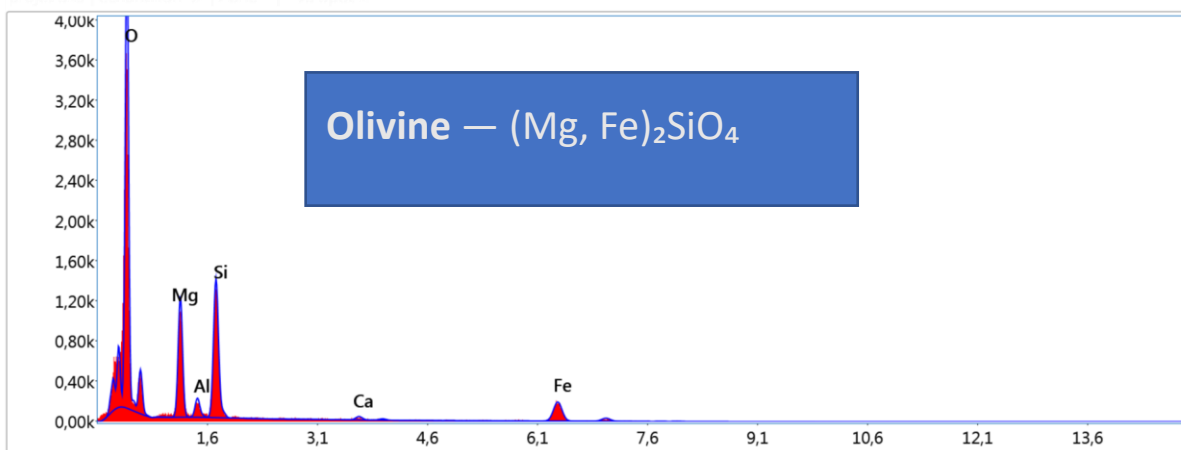
Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.23	62.57	9.05
NaK	7.97	7.05	8.74
AlK	13.73	10.35	5.75
SiK	24.34	17.62	5.30
K K	0.57	0.30	26.54
CaK	4.16	2.11	6.89

Zone 4

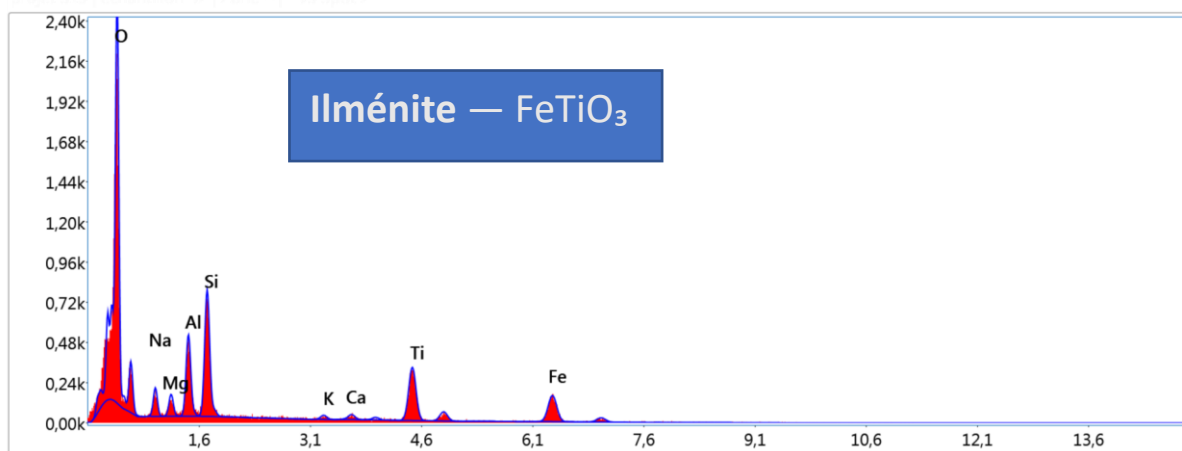


EDS Spot 1



Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.73	67.54	8.25
MgK	13.66	11.97	7.79
AlK	2.26	1.78	11.42
SiK	15.51	11.76	6.03
CaK	0.95	0.51	22.38
FeK	16.89	6.44	5.55

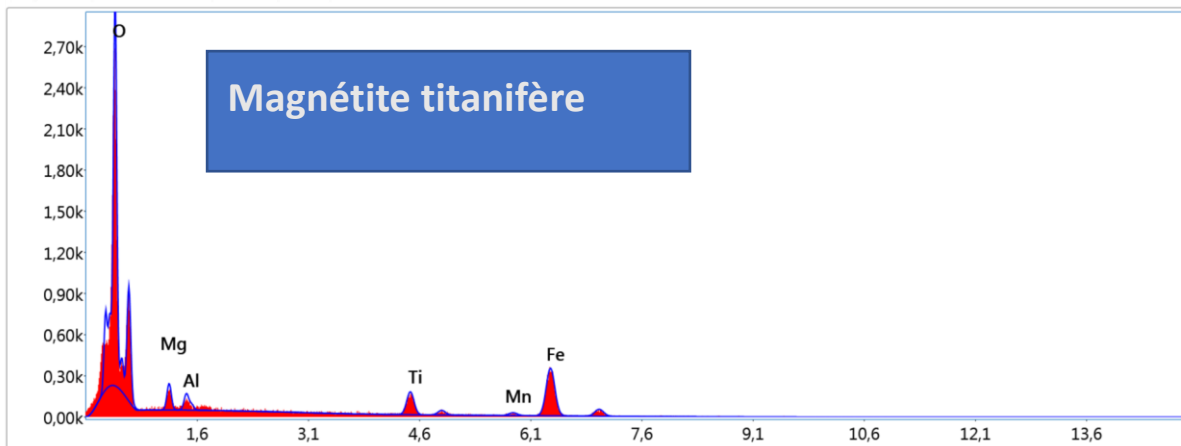
EDS Spot 2



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	47.48	67.60	9.84
NaK	3.76	3.73	13.72
MgK	1.87	1.75	12.53
AlK	6.31	5.33	7.93
SiK	9.59	7.77	6.66
K K	0.63	0.37	28.60
CaK	0.93	0.53	24.71
TiK	13.49	6.42	4.86
FeK	15.93	6.50	6.29

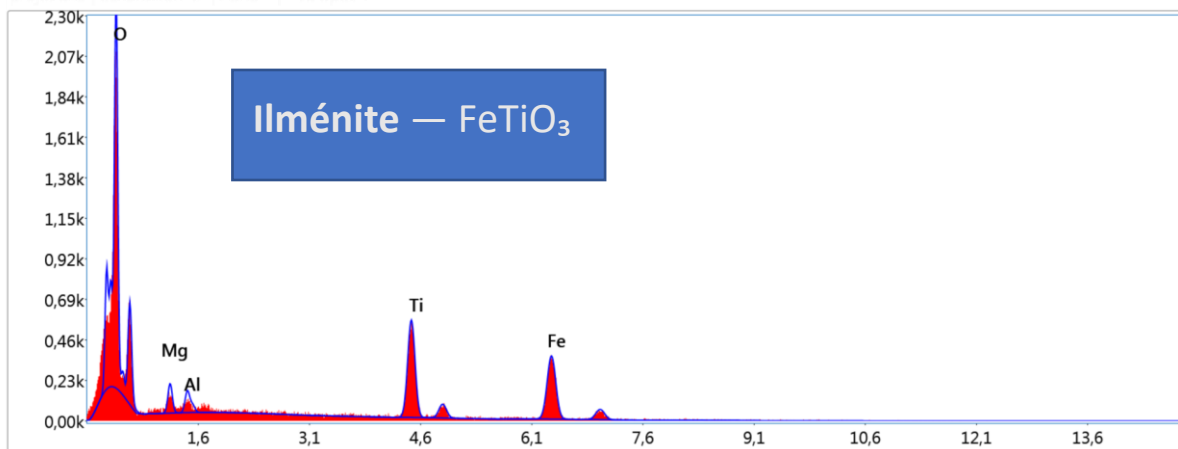
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	44.57	70.93	9.13
MgK	3.75	3.93	12.62
AlK	2.04	1.92	12.70
TiK	7.51	4.00	7.28
MnK	1.88	0.87	28.14
FeK	40.24	18.35	4.51

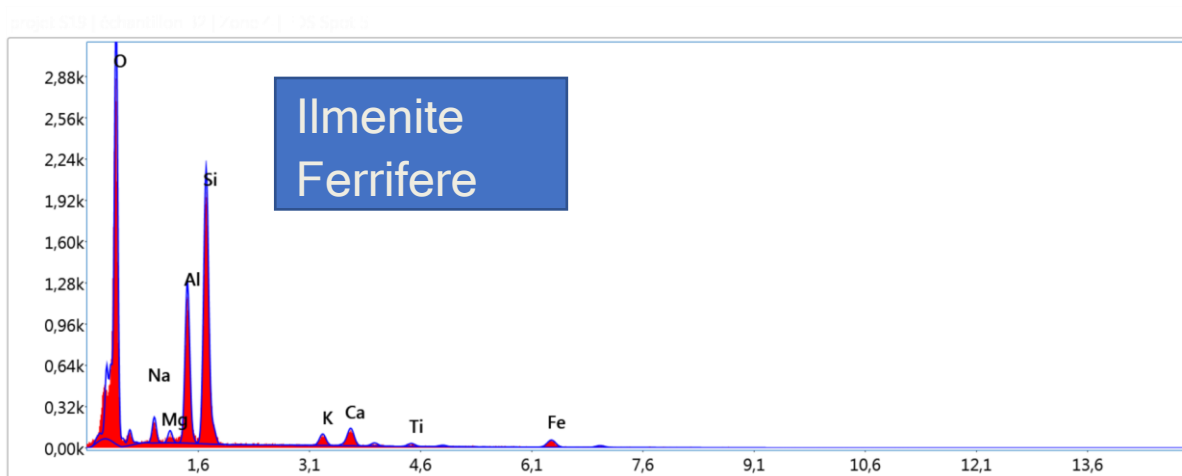
EDS Spot 4



120kVbeam1_020

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	42.26	69.05	10.40
MgK	2.51	2.70	12.77
AlK	1.60	1.55	11.62
TiK	20.58	11.24	4.17
FeK	33.04	15.47	4.61

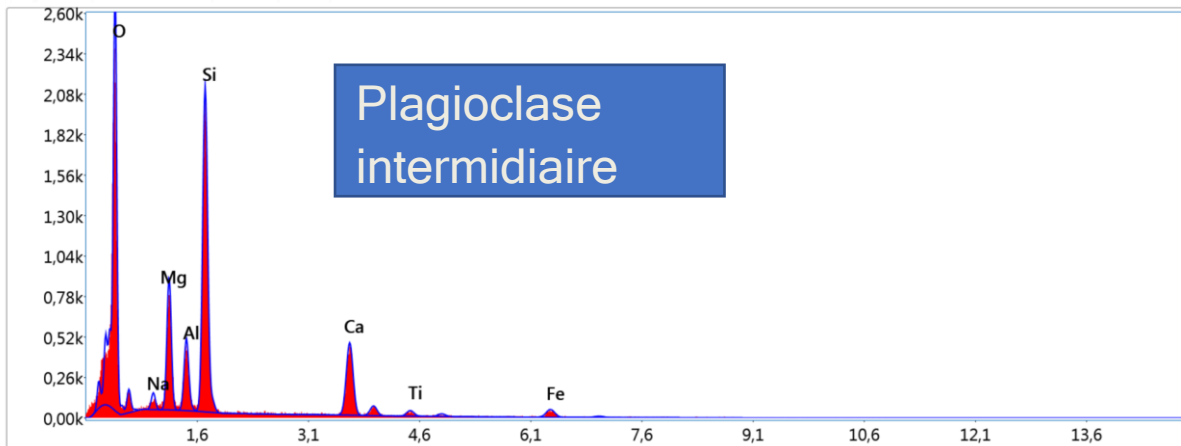
EDS Spot 5



Données non vérifiées

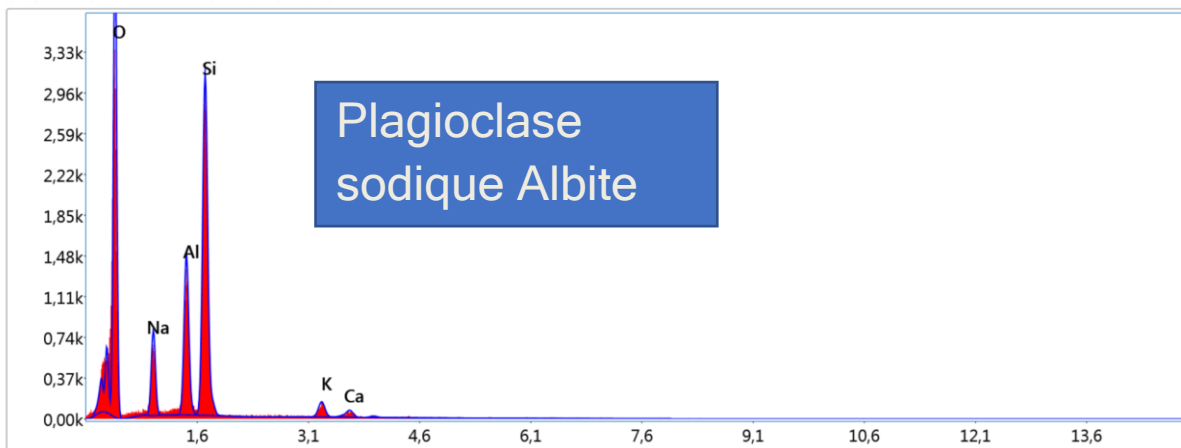
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.26	64.53	9.35
NaK	3.05	2.78	11.86
MgK	0.99	0.85	14.62
AlK	12.28	9.54	6.11
SiK	22.68	16.92	5.37
K K	2.05	1.10	14.09
CaK	3.91	2.04	8.56
TiK	0.90	0.39	24.38
FeK	4.89	1.83	10.14

EDS Spot 6



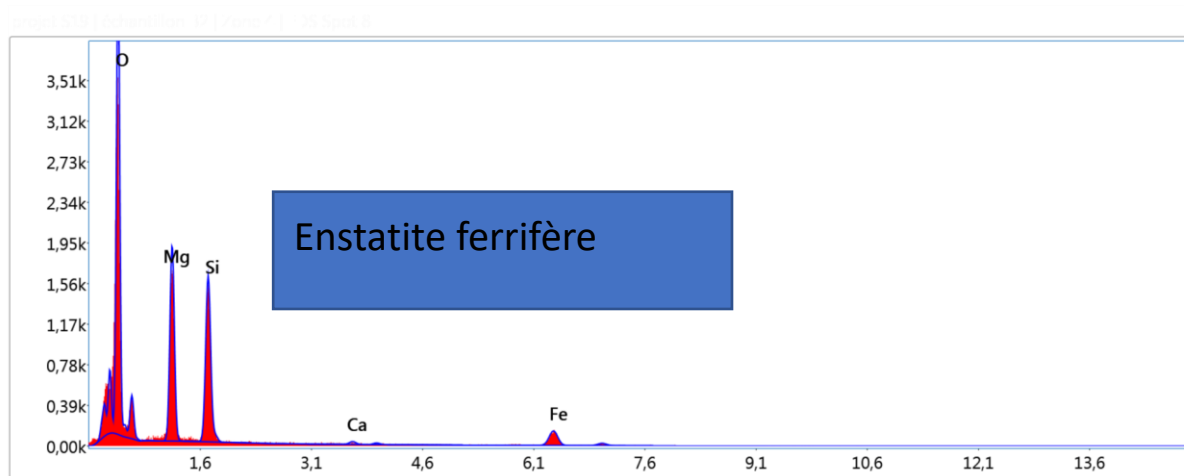
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.64	62.65	9.94
NaK	1.58	1.48	16.65
MgK	8.38	7.41	7.60
AlK	4.61	3.67	8.12
SiK	20.69	15.83	5.39
CaK	12.61	6.76	4.61
TiK	1.30	0.59	16.33
FeK	4.18	1.61	11.77

EDS Spot 7



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.27	62.50	8.96
NaK	8.56	7.55	8.64
AlK	11.47	8.63	5.93
SiK	26.54	19.18	5.10
K K	2.65	1.38	10.53
CaK	1.51	0.77	14.72

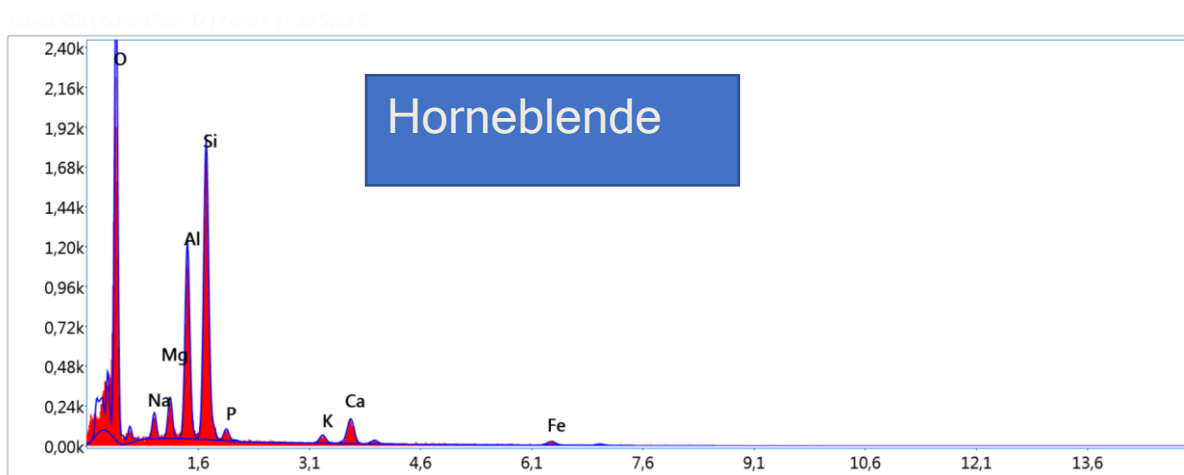
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.28	64.56	8.34
MgK	19.98	17.22	7.07
SiK	17.71	13.21	5.94
CaK	0.78	0.41	23.85
FeK	12.25	4.60	6.48

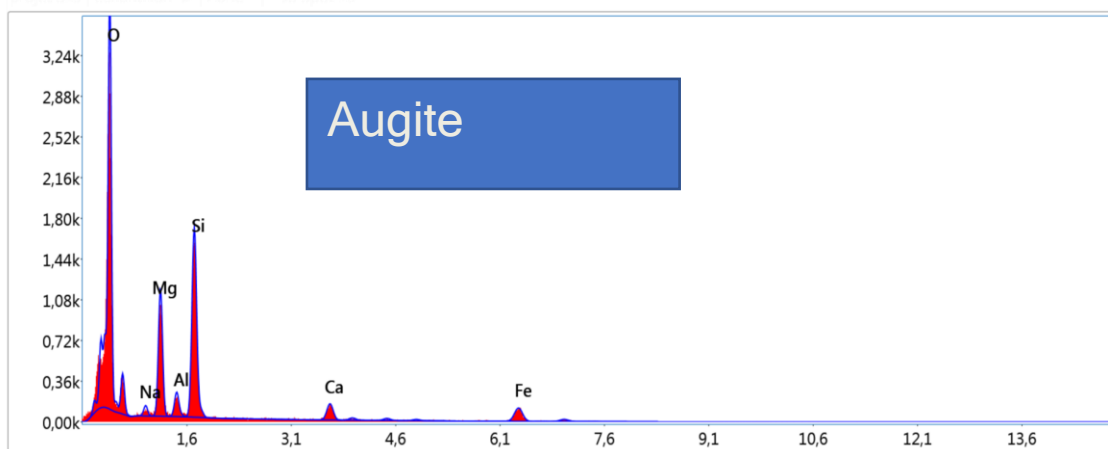
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	48.72	63.22	9.44
NaK	2.66	2.40	12.72
MgK	2.90	2.48	9.63
AlK	13.43	10.34	6.07
SiK	22.35	16.52	5.54
P K	1.35	0.90	18.88
K K	1.32	0.70	18.68
CaK	5.04	2.61	7.81
FeK	2.23	0.83	19.74

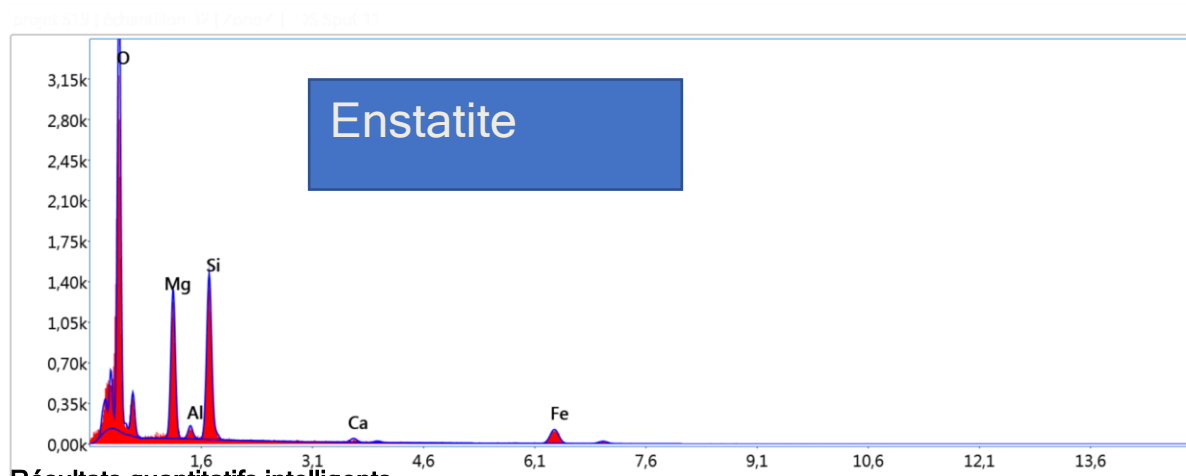
EDS Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O	49.2	65.0	8.9
K	1	8	6
Na	1.5	1.4	17.5
K	4	2	6
Mg	12.5	10.9	7.6
K	6	3	3
Al	2.5	1.9	10.7
K	1	7	6
Si	18.6	14.0	5.7
K	6	6	6
Ca	4.1	2.2	8.4
K	8	1	2
Ti	0.6	0.3	37.6
K	9	0	3
Fe	10.6	4.0	6.8
K	5	4	8

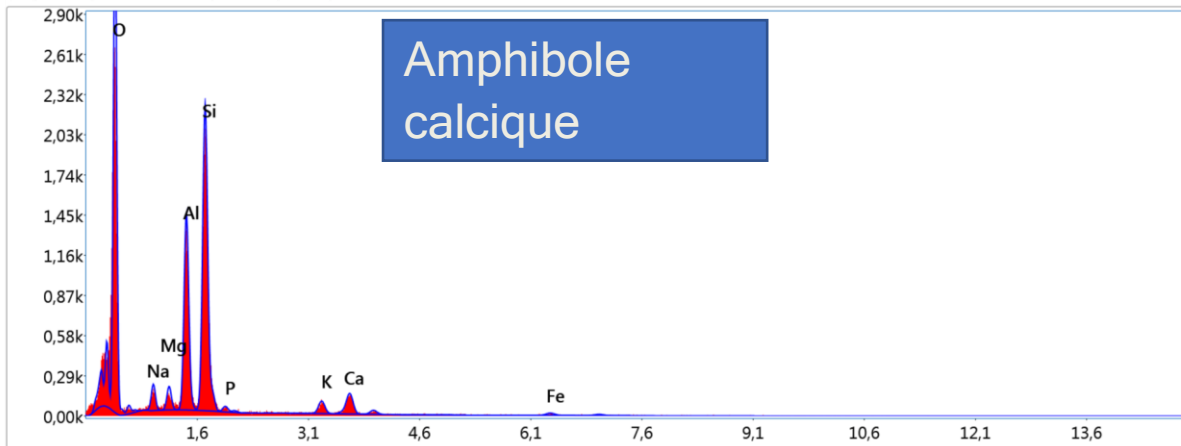
EDS Spot 11



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.85	66.35	8.42
MgK	16.06	13.79	7.48
AlK	1.53	1.19	12.69
SiK	18.17	13.50	5.91
CaK	1.10	0.57	21.95
FeK	12.29	4.59	6.53

EDS Spot 12



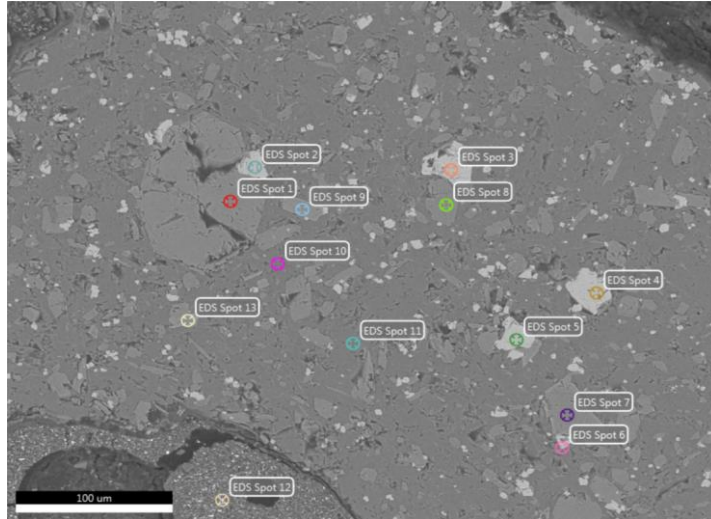
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.27	65.44	9.28
NaK	2.70	2.40	12.44
MgK	1.67	1.40	10.86
AlK	13.34	10.10	5.88
SiK	22.74	16.53	5.31
P K	0.62	0.41	29.36
K K	2.04	1.07	12.99
CaK	4.21	2.15	7.51
FeK	1.41	0.51	23.21

Auteur : STRATIGRAPHIE DLAB SONATRACH

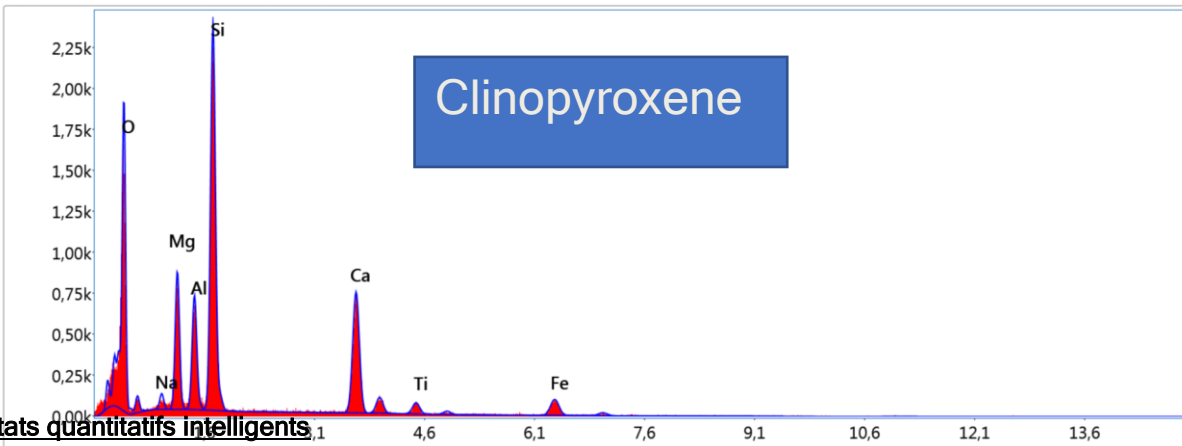
Création : 05/07/2026 1 :46 :34

Nom de l'échantillon: N

Zone 1



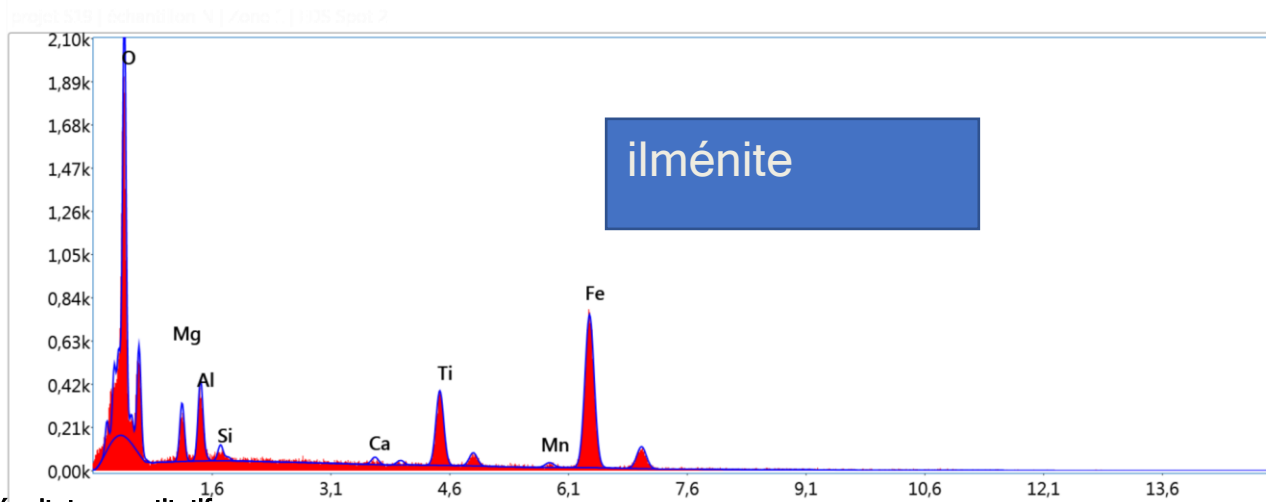
EDS Spot 1



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.09	53.23	10.54
NaK	1.30	1.34	16.89
MgK	7.56	7.33	7.70
AlK	6.28	5.49	7.28
SiK	21.21	17.82	5.41
CaK	17.94	10.56	3.99
TiK	2.28	1.13	12.10
FeK	7.34	3.10	8.29

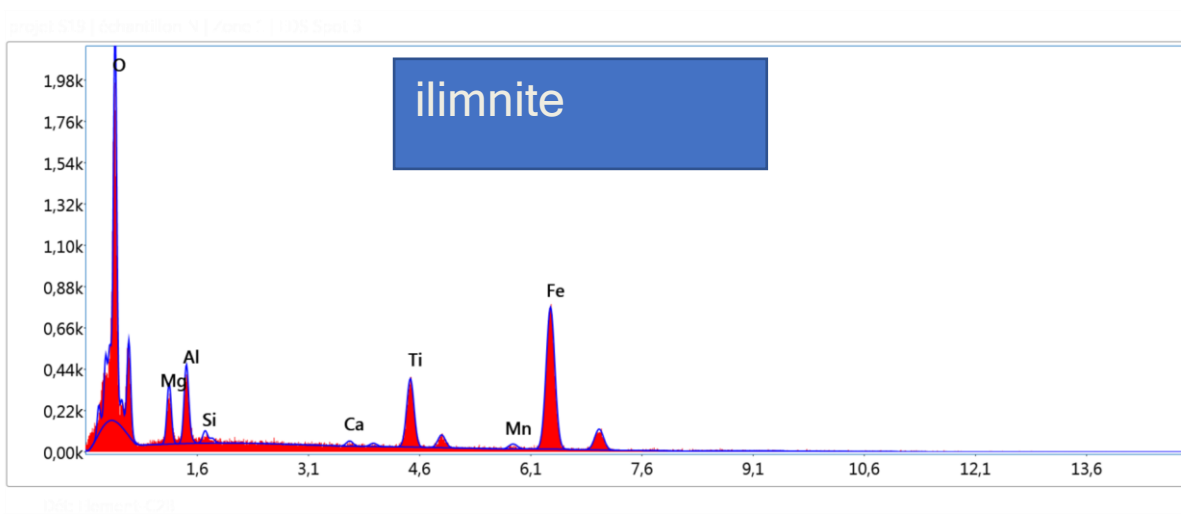
EDS Spot 2



Résultats quantitatifs
intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O	25.5	50.7	9.9
K	4	0	0
Mg	3.6	4.7	11.0
K	3	4	2
Al	4.4	5.2	9.7
K	2	0	2
Si	0.7	0.8	17.9
K	9	9	4
Ca	0.7	0.6	22.2
K	9	2	1
Ti	10.1	6.7	5.3
K	4	2	7
Mn	1.2	0.7	30.0
K	9	5	1
Fe	53.4	30.3	3.8
K	1	7	1

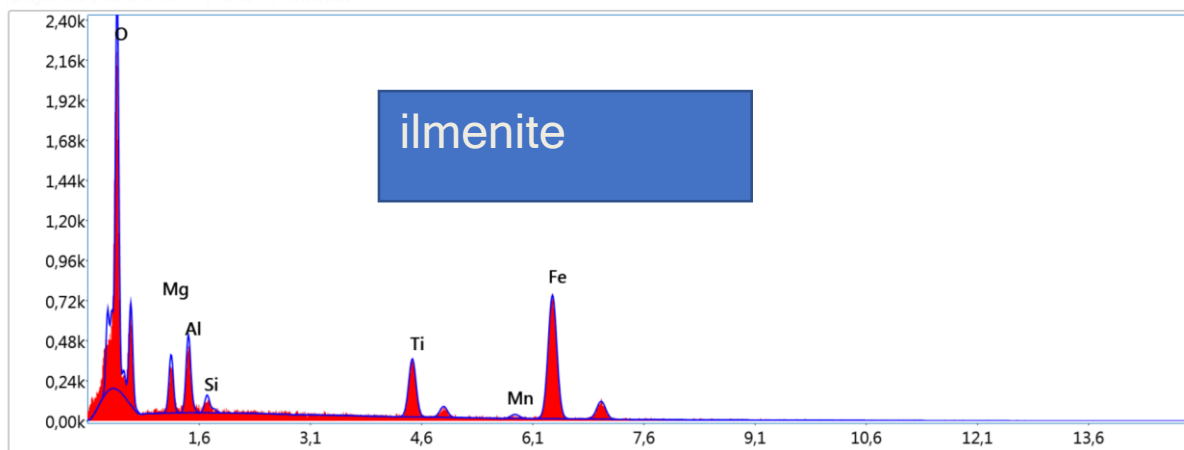
EDS Spot3



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	25.05	49.90	9.88
MgK	4.06	5.33	10.84
AlK	4.63	5.47	9.70
SiK	0.66	0.75	16.76
CaK	0.58	0.46	33.43
TiK	10.04	6.68	5.39
MnK	1.47	0.85	27.48
FeK	53.51	30.55	3.80

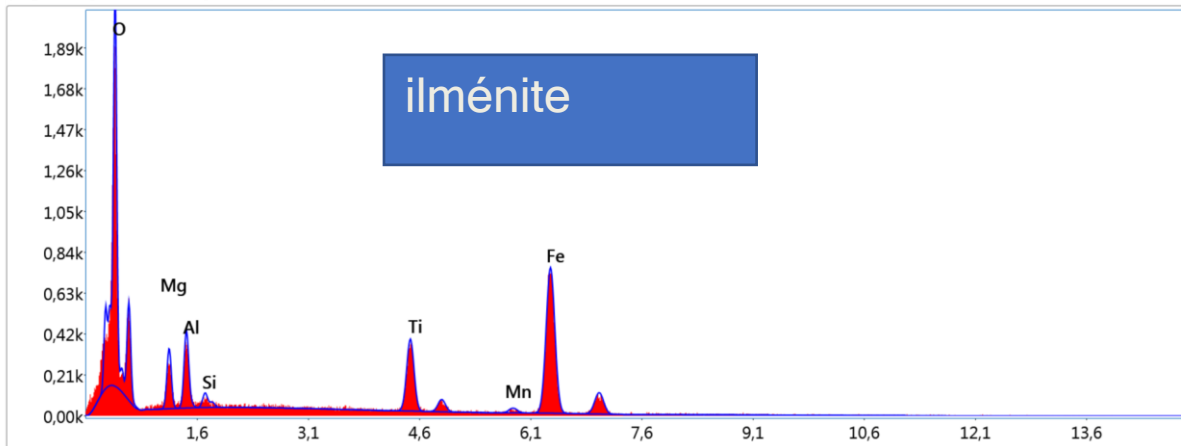
EDS Spot 4



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	27.22	52.40	9.70
MgK	4.29	5.43	10.71
AlK	5.00	5.71	9.32
SiK	1.04	1.14	13.55
TiK	9.42	6.06	5.42
MnK	1.32	0.74	27.50
FeK	51.71	28.52	3.80

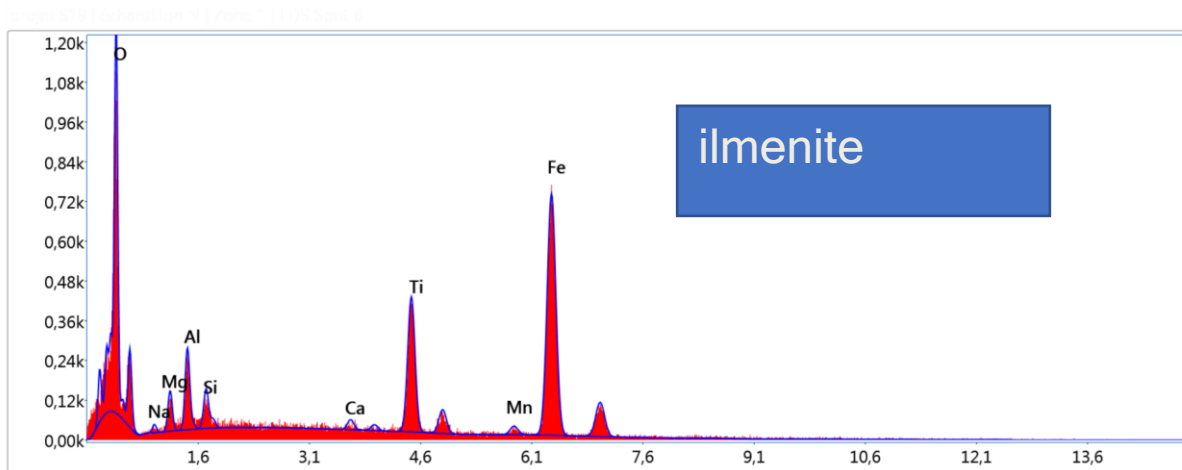
EDS Spot 5



100% | Zone 5 | Spot 5

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.50	49.27	9.89
MgK	4.02	5.33	10.92
AlK	4.49	5.36	9.75
SiK	0.77	0.88	13.79
TiK	10.44	7.01	5.33
MnK	1.39	0.81	27.44
FeK	54.38	31.33	3.80

EDS Spot 6

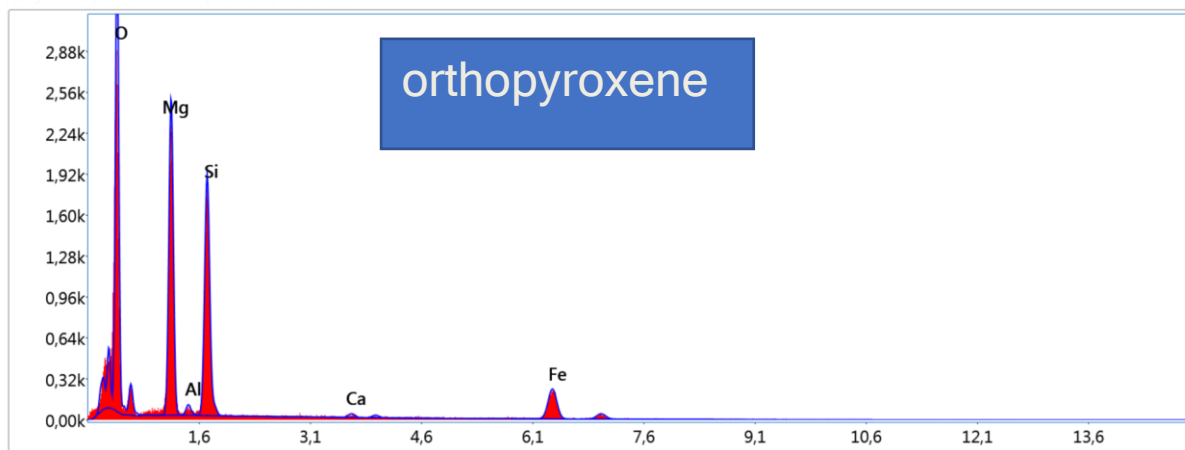


Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	18.20	40.75	10.51
NaK	0.66	1.02	33.46
MgK	1.86	2.74	13.74
AlK	3.19	4.23	10.61
SiK	1.38	1.76	11.54
CaK	0.73	0.65	31.22
TiK	12.96	9.69	5.13
MnK	1.62	1.06	27.43
FeK	59.40	38.09	3.84

EDS Spot 7

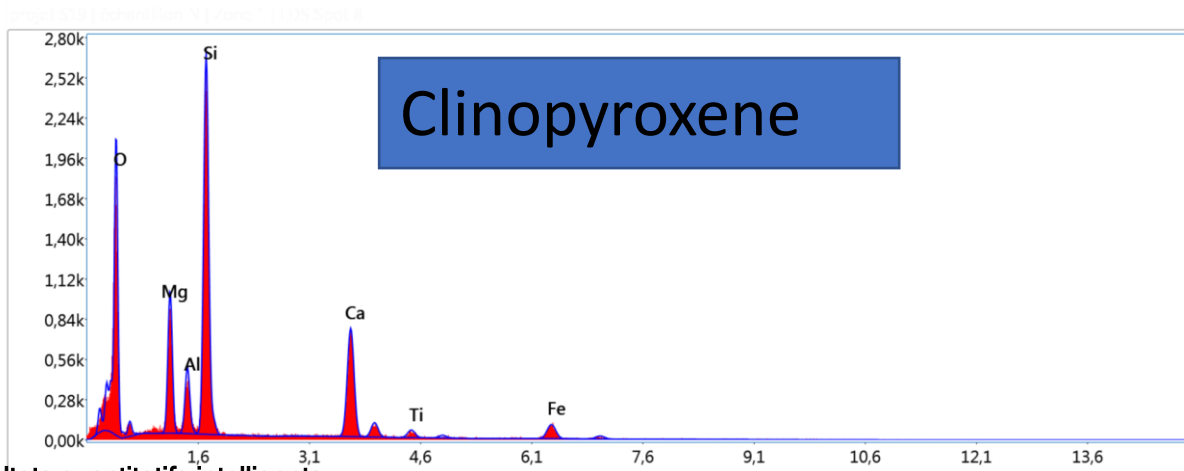
img1_378 [Elementaire V] Zone 7 | EDS Spot 7



Document 21

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.11	54.27	8.67
MgK	23.30	21.83	6.98
AlK	0.91	0.77	15.80
SiK	18.93	15.36	6.05
CaK	0.75	0.43	21.47
FeK	18.00	7.34	5.19

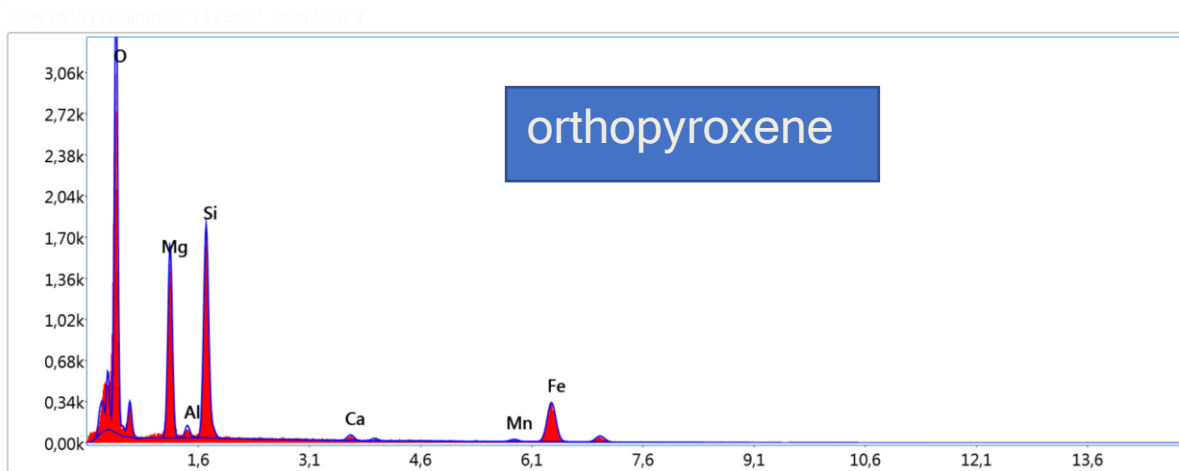
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.82	55.13	10.45
MgK	8.52	8.18	7.54
AlK	4.04	3.49	8.21
SiK	22.83	18.96	5.25
CaK	17.87	10.40	3.97
TiK	1.70	0.83	14.31
FeK	7.21	3.01	8.19

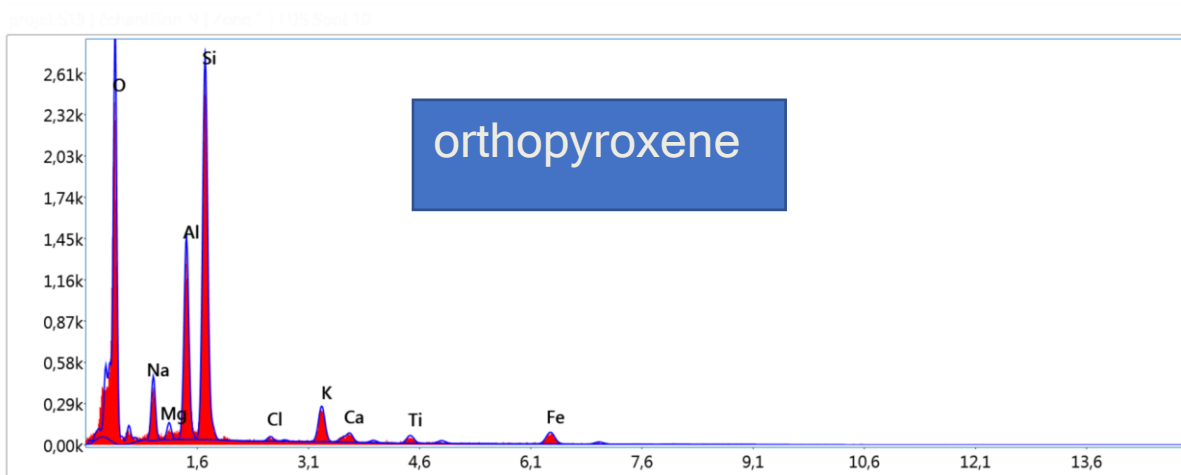
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.01	56.49	8.63
MgK	16.33	15.97	7.63
AlK	1.10	0.97	14.67
SiK	17.55	14.86	6.12
CaK	1.15	0.69	15.78
MnK	1.05	0.46	32.74
FeK	24.80	10.56	4.60

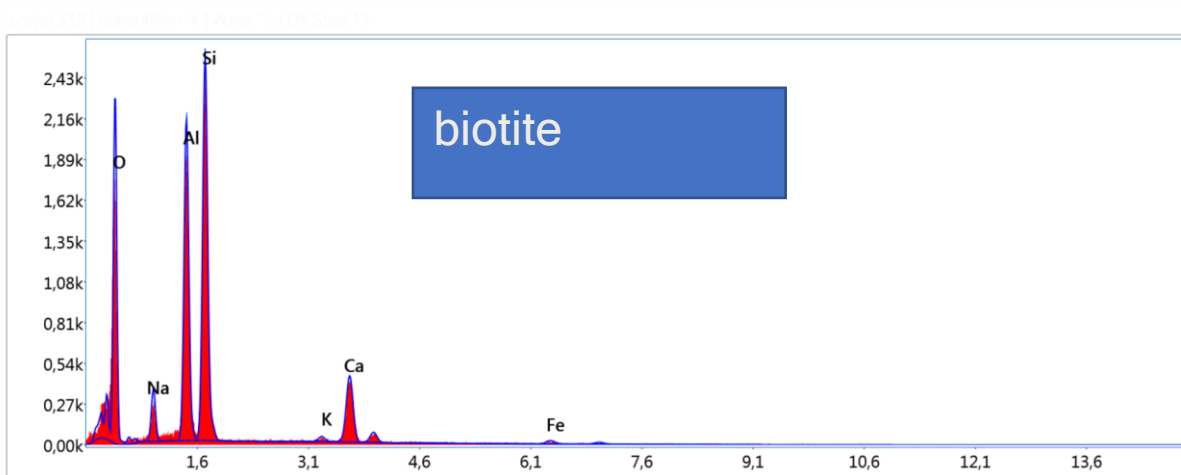
EDS Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	40.59	56.24	9.60
NaK	5.77	5.56	9.67
MgK	1.10	1.00	11.83
AlK	12.26	10.07	6.14
SiK	24.95	19.69	5.37
ClK	0.51	0.32	30.55
K K	5.07	2.88	6.68
CaK	1.61	0.89	14.92
TiK	1.83	0.85	12.75
FeK	6.31	2.51	8.50

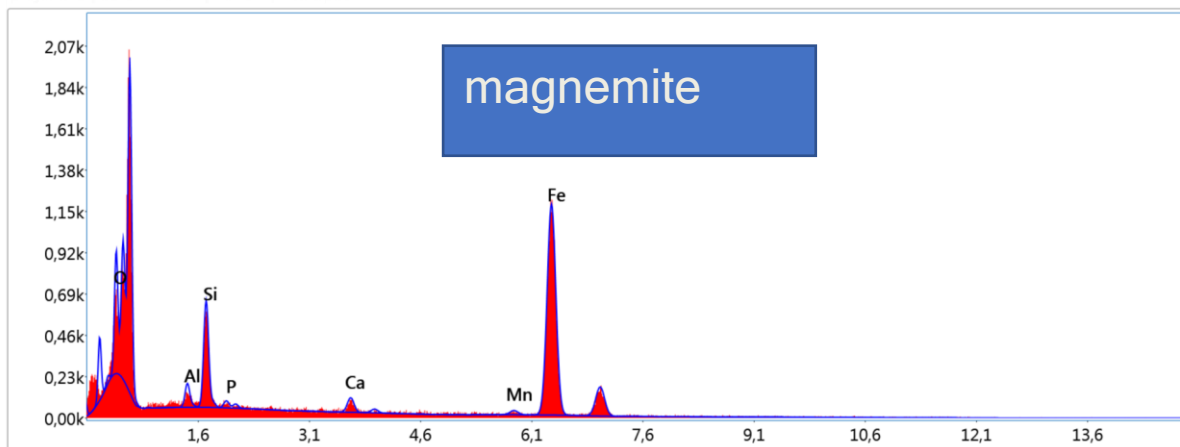
EDS Spot 11



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	39.32	54.40	10.09
NaK	4.20	4.05	9.74
AlK	17.97	14.75	5.49
SiK	24.62	19.40	5.46
K K	0.70	0.39	25.70
CaK	11.44	6.32	4.81
FeK	1.75	0.69	18.21

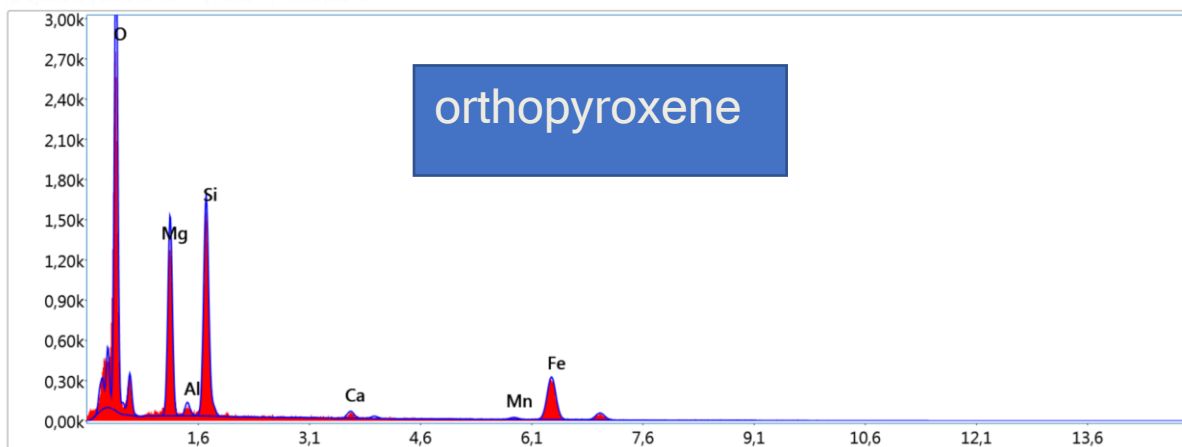
EDS Spot 12



100% Normé (C2)

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	6.42	17.95	11.07
AlK	1.57	2.60	14.34
SiK	6.17	9.82	8.22
P K	0.50	0.73	34.55
CaK	1.72	1.92	15.06
MnK	1.21	0.99	32.39
FeK	82.40	65.99	3.42

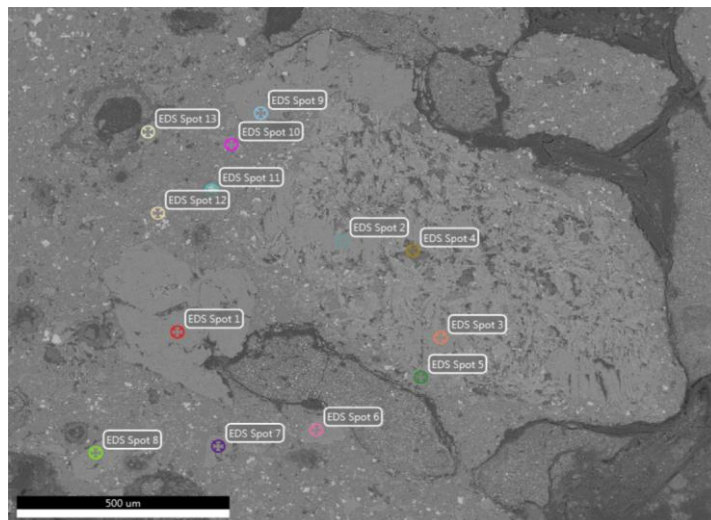
EDS Spot 13



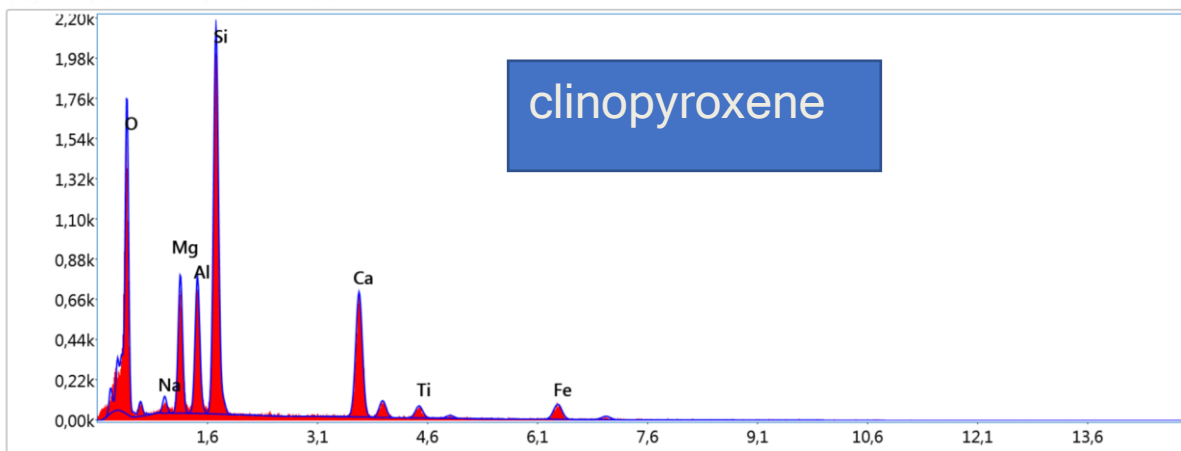
Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.00	56.64	8.66
MgK	16.10	15.80	7.69
AlK	1.14	1.01	14.99
SiK	17.10	14.52	6.10
CaK	1.35	0.80	16.39
MnK	0.90	0.39	40.99
FeK	25.42	10.85	4.71

Zone 2



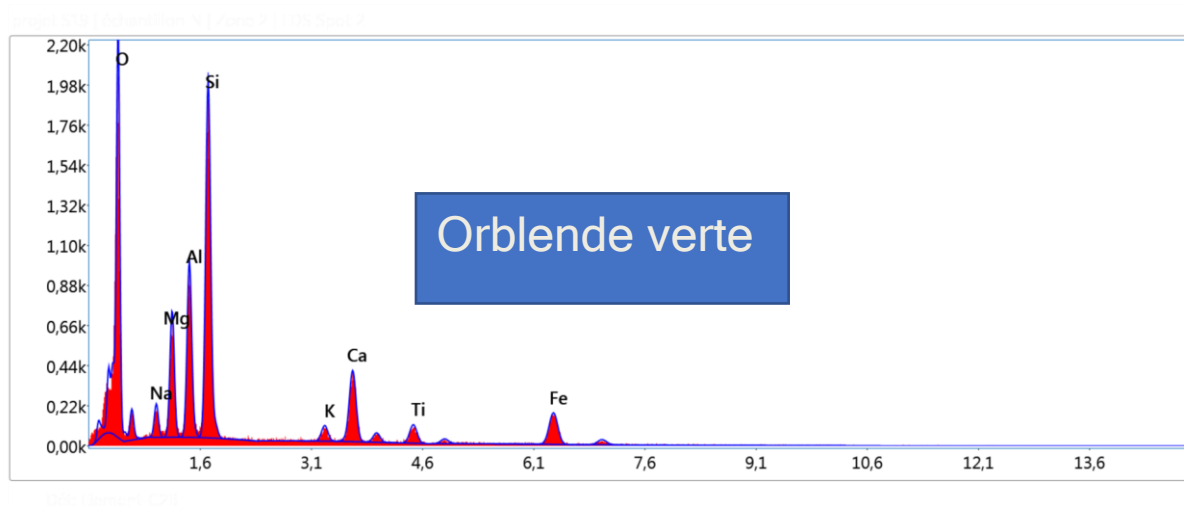
EDS Spot 1



1200 Element_C201

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.17	53.20	10.59
NaK	1.32	1.35	16.98
MgK	7.35	7.11	7.74
AlK	7.27	6.34	7.13
SiK	20.77	17.40	5.47
CaK	18.05	10.60	4.03
TiK	2.38	1.17	12.96
FeK	6.70	2.82	8.55

EDS spot 2

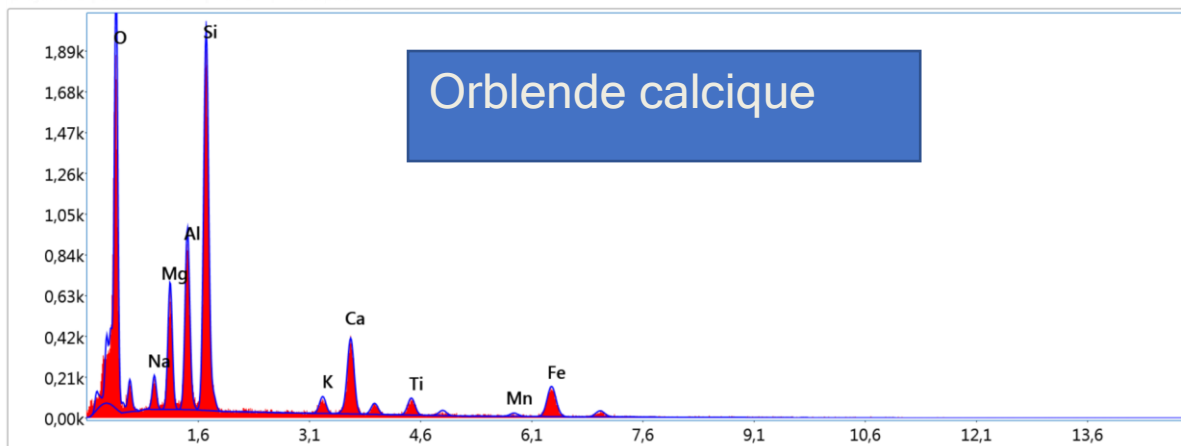


Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	35.92	53.48	10.12
NaK	2.59	2.68	12.97
MgK	6.57	6.44	8.09
AlK	8.94	7.90	7.15
SiK	18.45	15.65	5.86
K K	1.65	1.00	14.21
CaK	9.46	5.62	5.20
TiK	3.31	1.65	8.95
FeK	13.10	5.59	6.18

EDS Spot 3

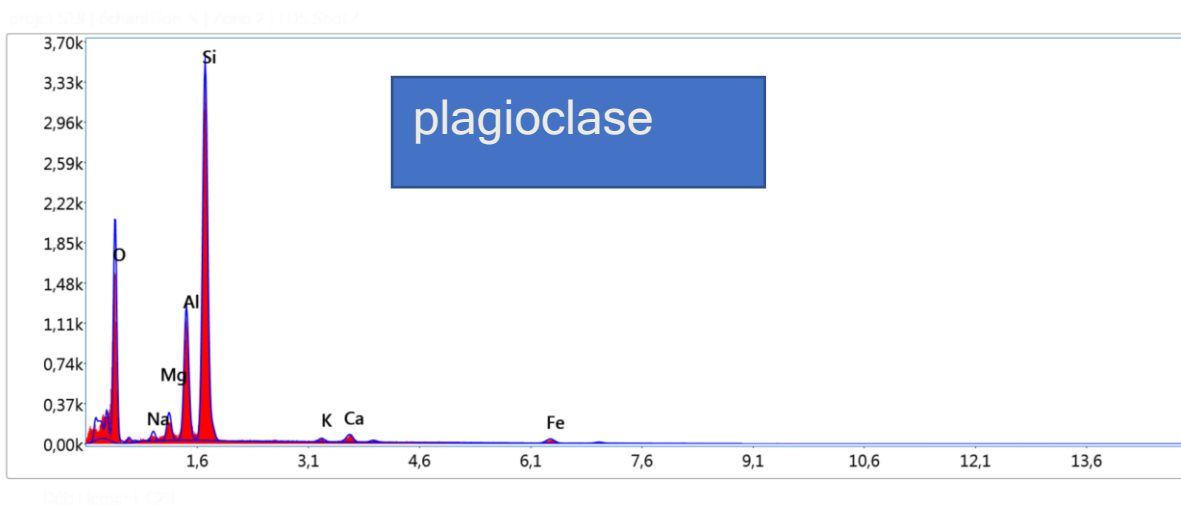
Image 107164.tif (107164) Zone 2 (1) EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.15	53.69	10.12
NaK	2.53	2.61	13.04
MgK	6.34	6.20	8.13
AlK	8.84	7.78	7.02
SiK	18.85	15.95	5.77
K K	1.71	1.04	15.20
CaK	9.70	5.75	5.08
TiK	2.92	1.45	9.78
MnK	1.03	0.45	34.03
FeK	11.94	5.08	6.26

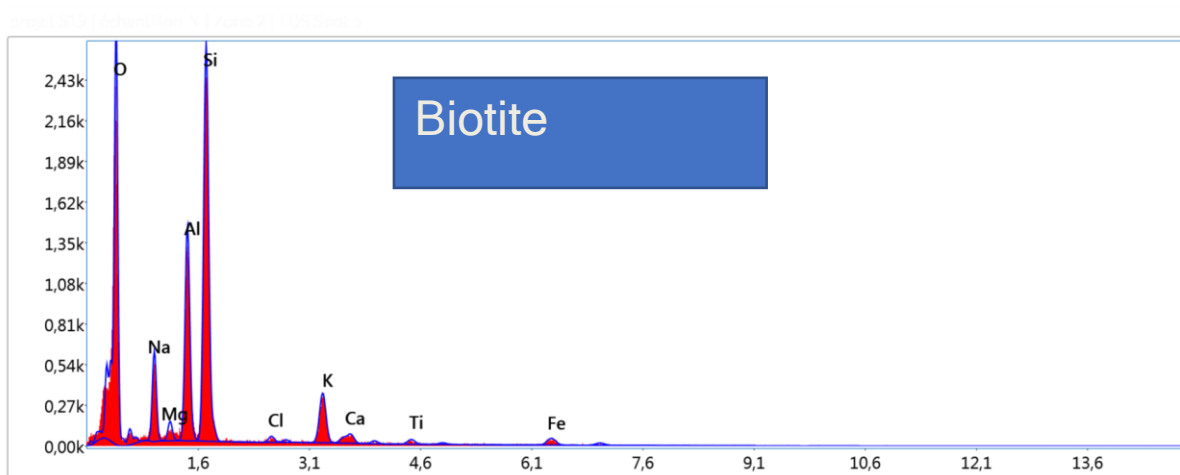
EDS Spot 4



Résultats quantitatifs intelligents

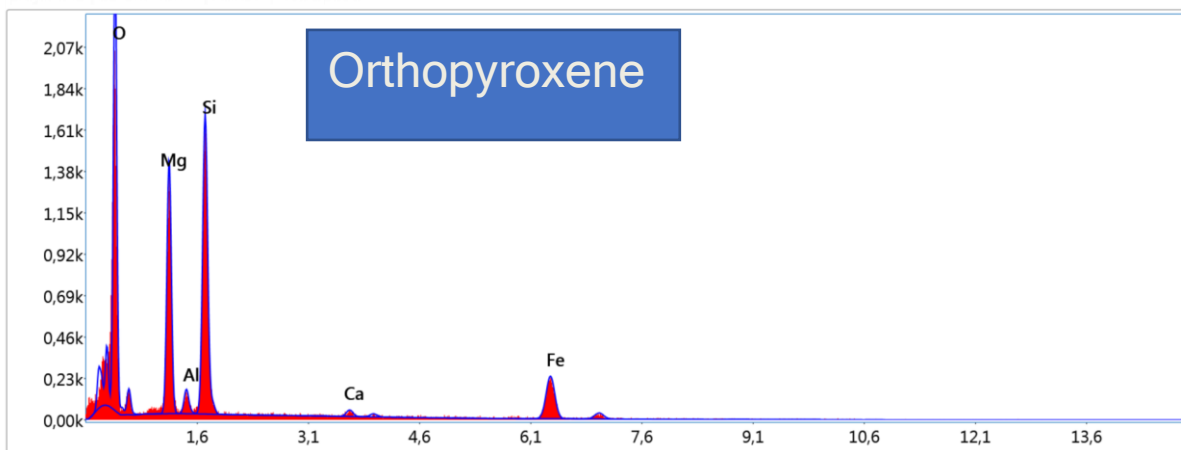
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.62	51.00	9.72
NaK	1.31	1.27	15.02
MgK	2.65	2.43	8.72
AlK	12.60	10.41	5.69
SiK	39.78	31.56	4.94
KK	0.87	0.50	23.59
CaK	2.32	1.29	12.50
FeK	3.85	1.54	13.59

EDS Spot 5



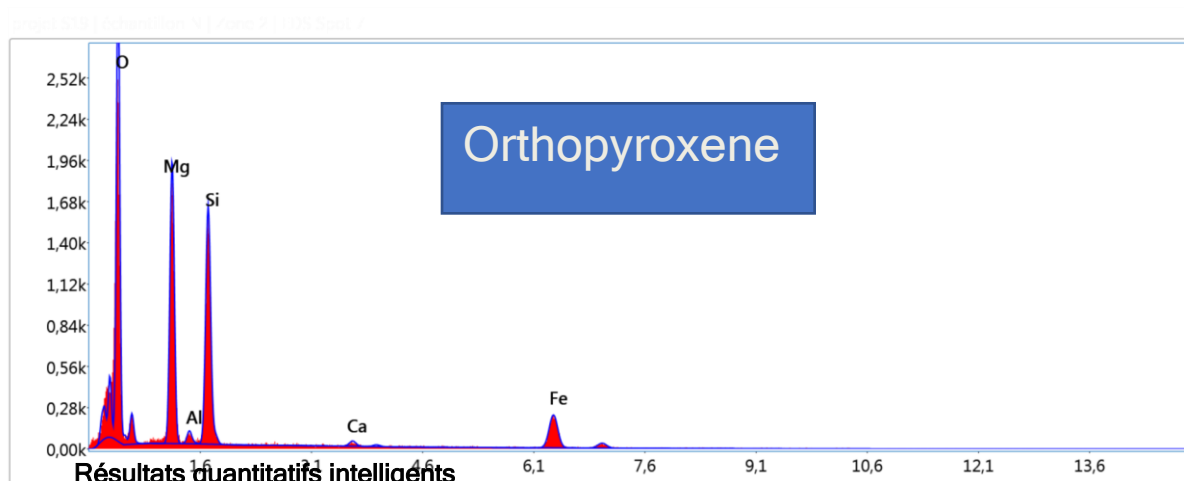
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	40.91	55.85	9.67
NaK	7.40	7.03	8.96
MgK	1.19	1.07	11.61
AlK	12.39	10.03	6.09
SiK	24.65	19.17	5.36
ClK	0.62	0.38	23.39
K K	6.78	3.79	6.07
CaK	1.54	0.84	14.79
TiK	1.06	0.48	26.06
FeK	3.45	1.35	11.77

EDS Spot 6



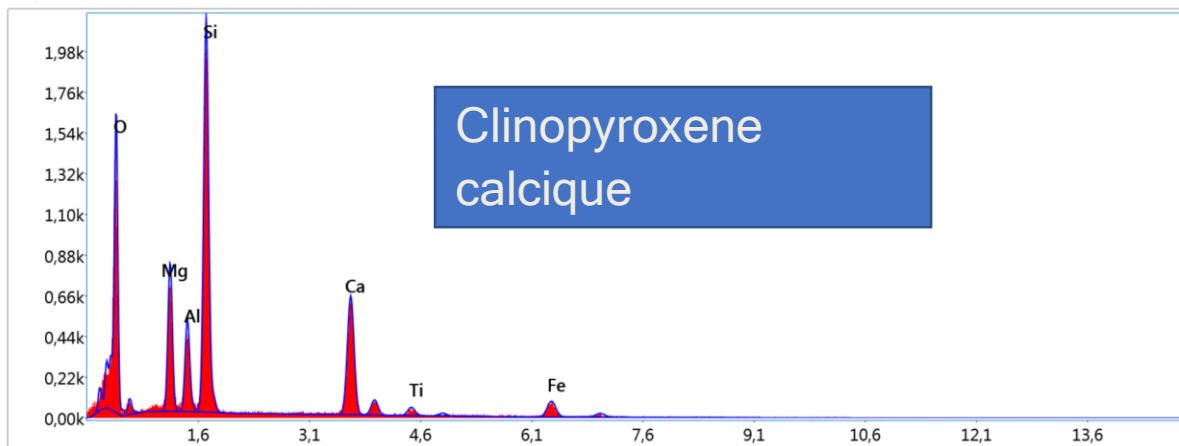
Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	35.02	52.36	8.95
MgK	17.67	17.39	7.49
AlK	1.85	1.64	12.72
SiK	21.14	18.00	6.04
CaK	1.12	0.67	20.59
FeK	23.19	9.93	5.19

EDS Spot 7



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.19	54.94	8.73
MgK	21.21	20.08	7.21
AlK	1.10	0.94	15.39
SiK	18.67	15.30	6.16
CaK	0.99	0.57	26.08
FeK	19.83	8.17	5.26

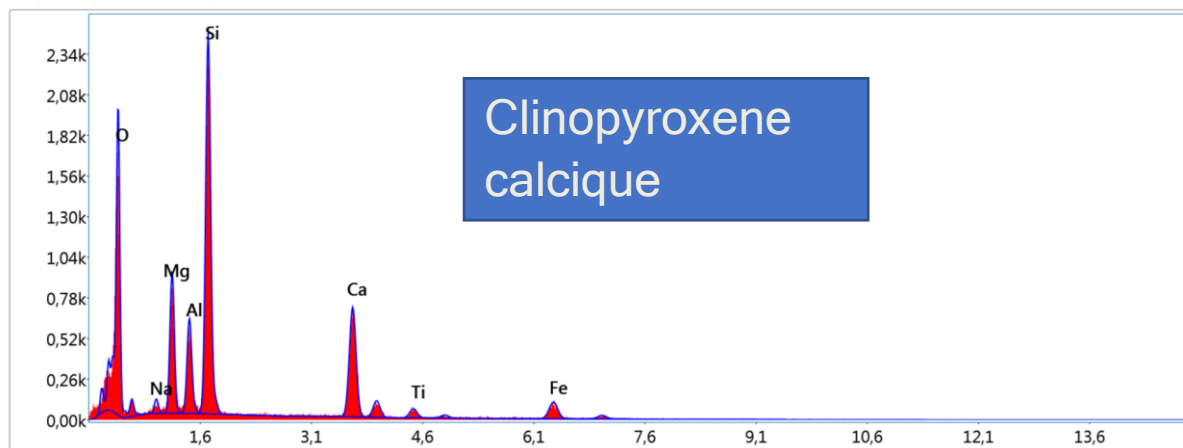
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.36	53.63	10.63
MgK	8.38	8.14	7.67
AlK	5.23	4.58	7.56
SiK	22.36	18.79	5.39
CaK	18.33	10.80	4.06
TiK	1.77	0.87	15.88
FeK	7.57	3.20	8.18

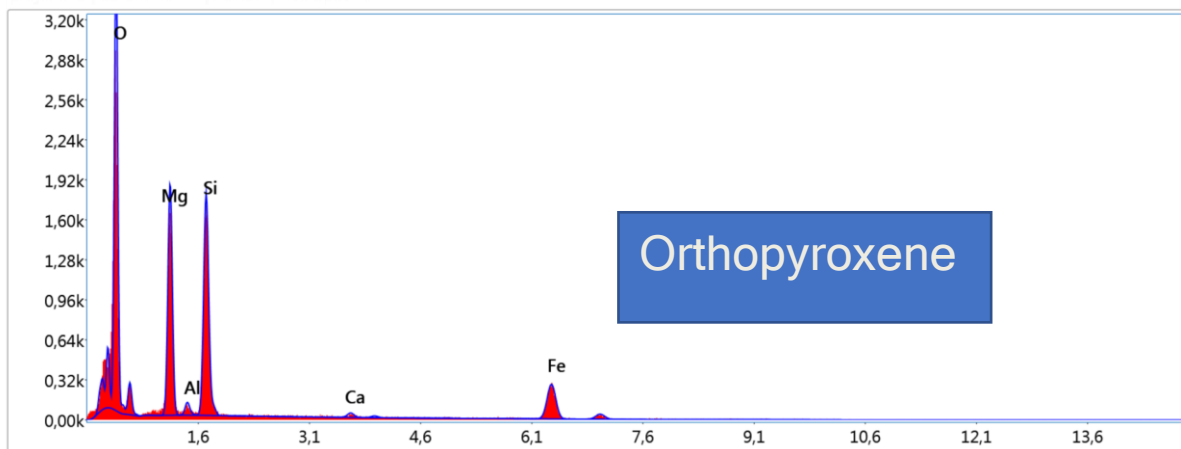
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.32	53.43	10.46
NaK	1.24	1.27	17.08
MgK	8.11	7.85	7.66
AlK	5.50	4.80	7.42
SiK	21.86	18.32	5.39
CaK	17.03	10.00	4.05
TiK	1.93	0.95	13.22
FeK	8.01	3.38	7.77

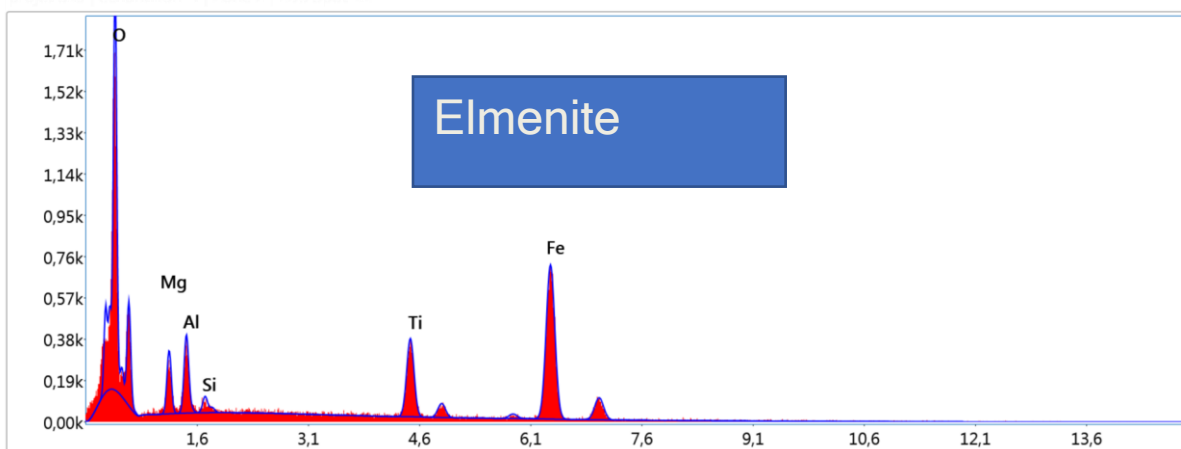
EDS Spot 10



2011-11-09 10:00:00

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.59	56.05	8.64
MgK	18.92	18.08	7.37
AlK	1.15	0.99	14.69
SiK	18.33	15.16	6.05
CaK	0.89	0.52	26.93
FeK	22.11	9.20	4.98

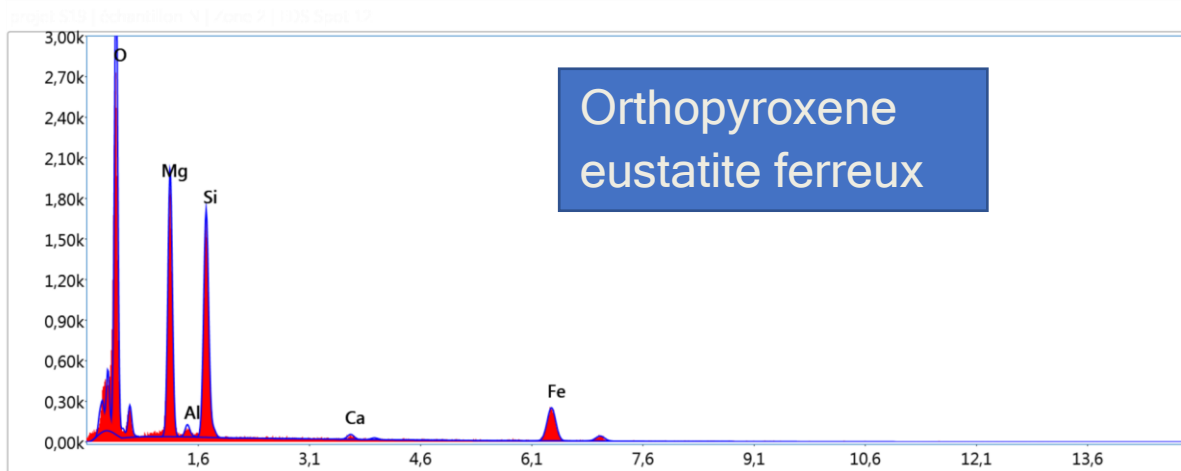
EDS Spot 11



14201 Element 1_221

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.29	49.02	9.96
MgK	4.01	5.33	10.98
AlK	4.32	5.18	9.90
SiK	0.82	0.94	14.80
TiK	10.75	7.25	5.36
MnK	1.24	0.73	31.14
FeK	54.57	31.55	3.83

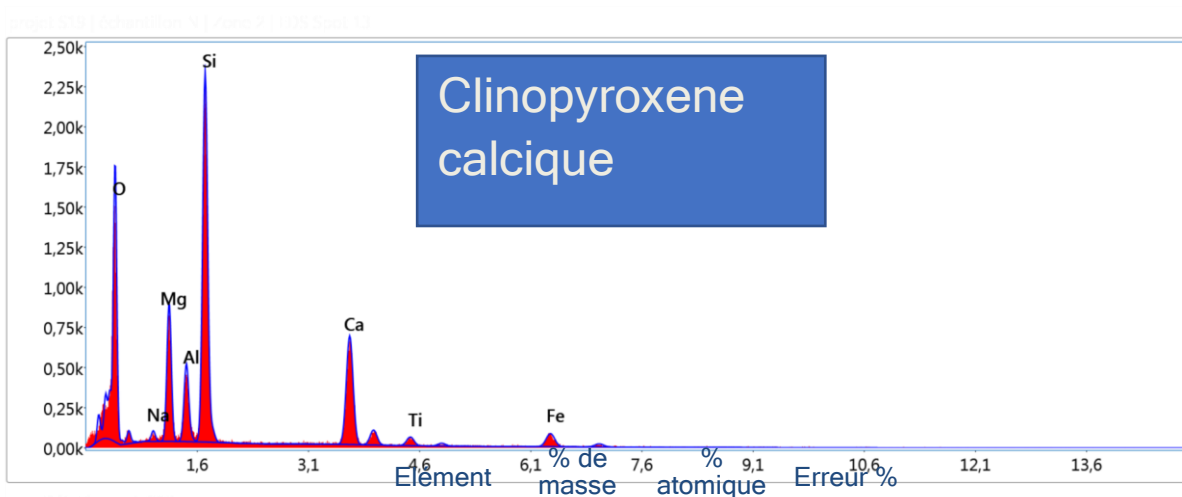
EDS Spot 12



100% Element C20

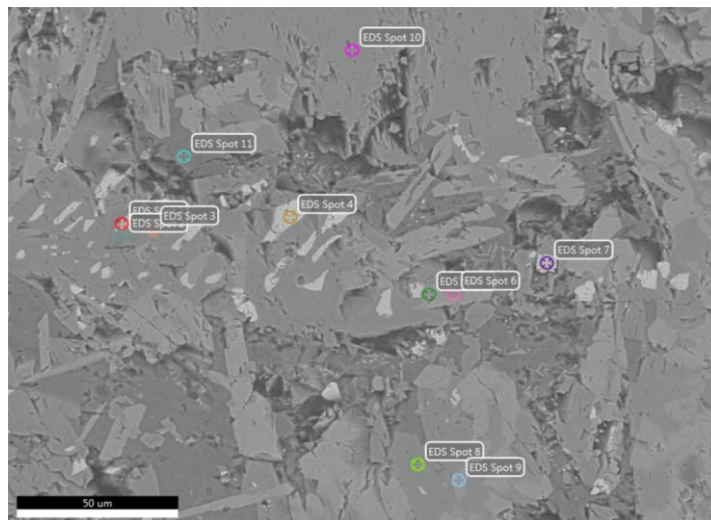
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.66	55.61	8.67
MgK	20.72	19.62	7.24
AlK	1.07	0.91	15.17
SiK	18.17	14.89	6.14
CaK	0.98	0.56	25.01
FeK	20.40	8.41	5.19

EDS Spot 13

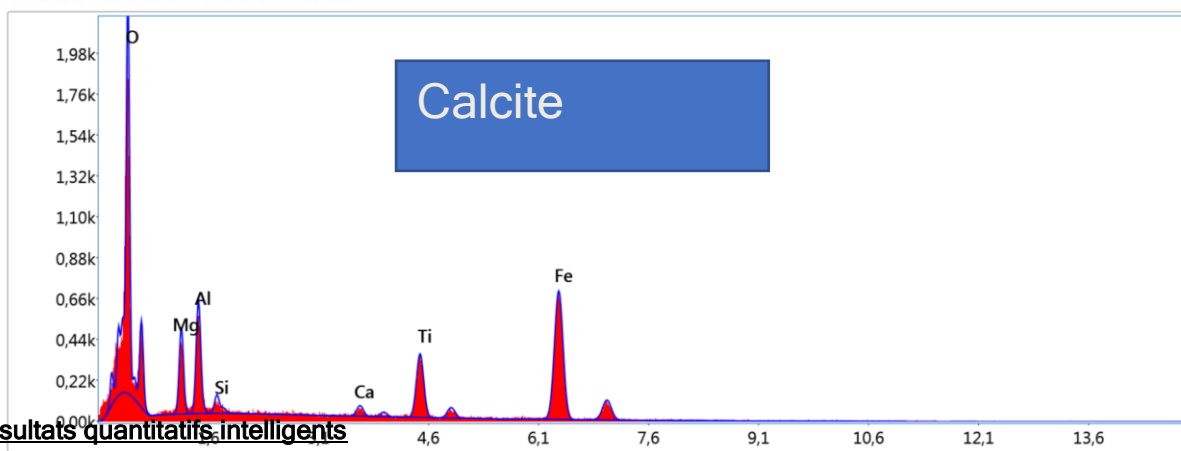


Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.32	53.33	10.59
NaK	0.97	0.99	17.96
MgK	8.43	8.15	7.63
AlK	4.80	4.18	7.65
SiK	22.61	18.91	5.34
CaK	18.13	10.63	4.04
TiK	1.97	0.97	14.00
FeK	6.78	2.85	8.58

Zone 3



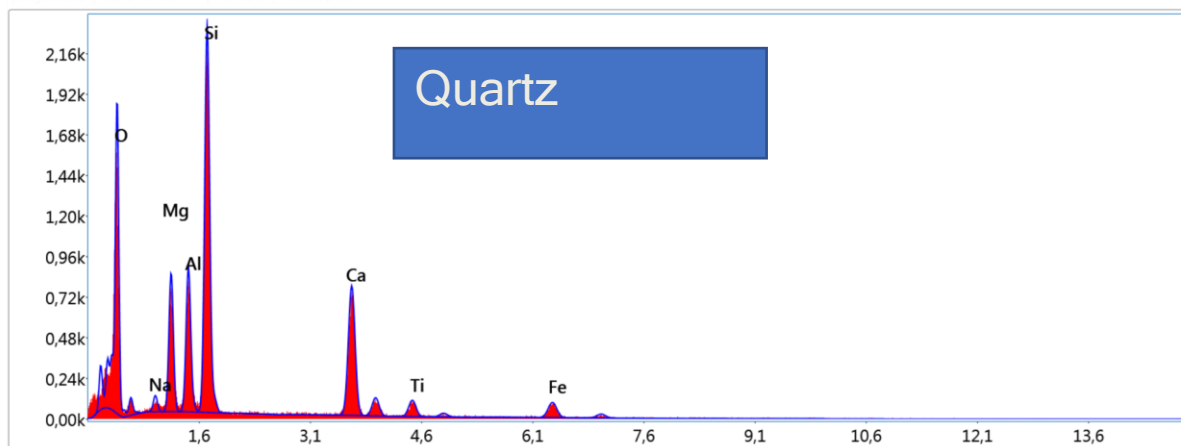
EDS Spot 1



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	26.43	50.35	9.92
MgK	5.62	7.05	10.26
AlK	6.59	7.45	8.67
SiK	1.00	1.08	13.04
CaK	1.22	0.93	17.10
TiK	9.60	6.11	5.34
FeK	49.53	27.03	3.85

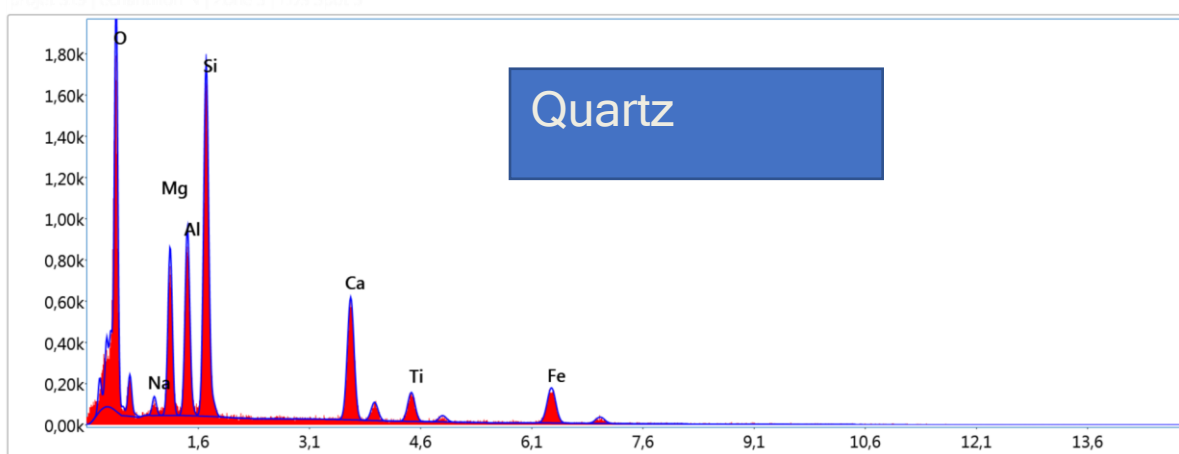
EDS Spot 2



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	35.68	52.82	10.60
NaK	1.25	1.29	16.90
MgK	7.21	7.02	7.70
AlK	7.47	6.55	6.94
SiK	20.33	17.14	5.46
CaK	18.29	10.81	3.97
TiK	3.14	1.56	10.10
FeK	6.63	2.81	8.22

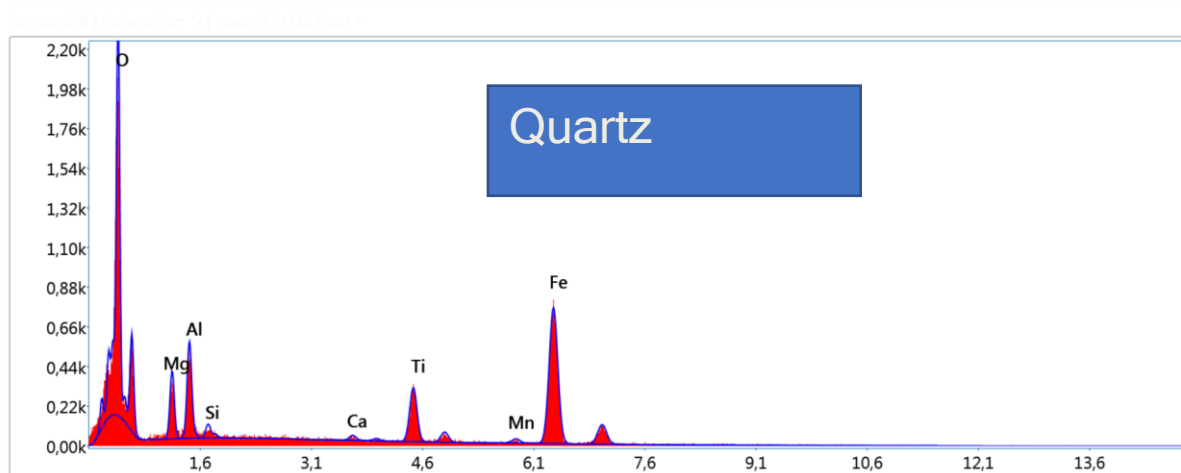
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	35.31	53.39	10.38
NaK	1.31	1.38	17.37
MgK	7.63	7.59	7.99
AlK	8.47	7.59	7.24
SiK	15.96	13.75	5.95
CaK	14.08	8.50	4.35
TiK	4.53	2.29	7.98
FeK	12.71	5.50	6.30

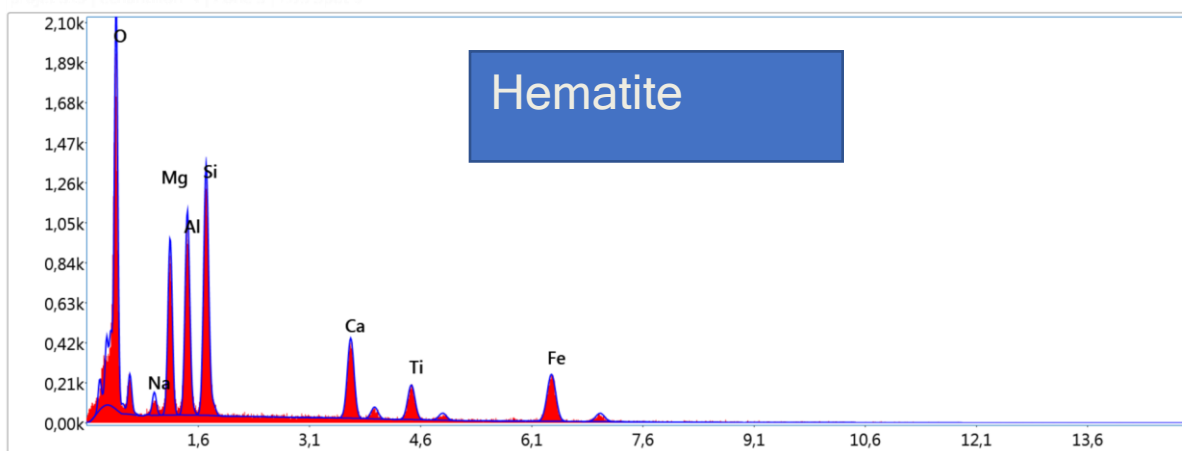
EDS Spot 4



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	25.38	49.78	9.71
MgK	4.67	6.03	10.62
AlK	5.88	6.84	8.86
SiK	0.77	0.86	15.87
CaK	0.60	0.47	34.90
TiK	8.21	5.38	6.08
MnK	1.27	0.73	30.83
FeK	53.22	29.91	3.79

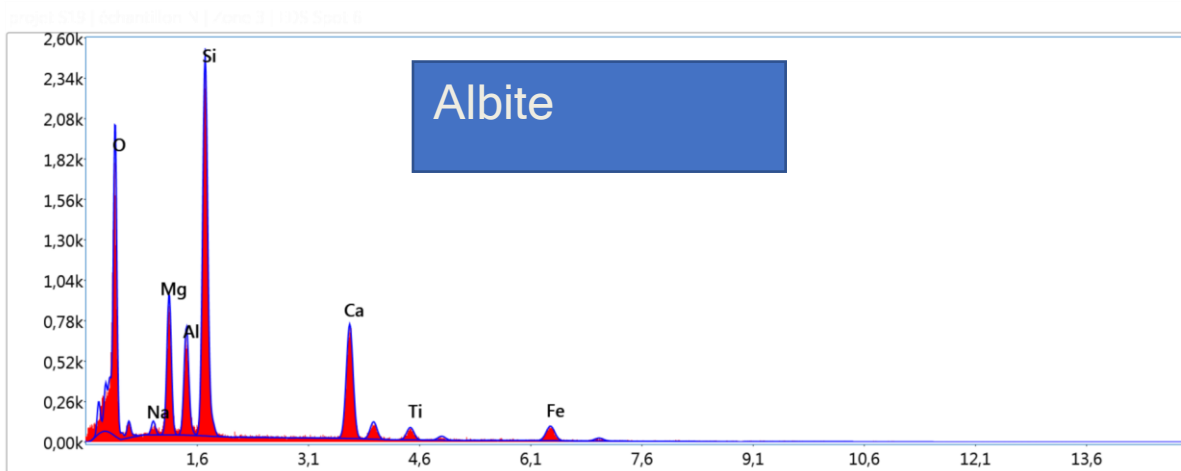
EDS Spot 5



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	33.21	51.57	10.17
NaK	1.76	1.91	14.11
MgK	8.88	9.07	8.09
AlK	10.17	9.37	7.12
SiK	12.53	11.09	6.36
CaK	9.71	6.02	4.85
TiK	5.66	2.93	6.57
FeK	18.08	8.04	5.22

EDS Spot 6

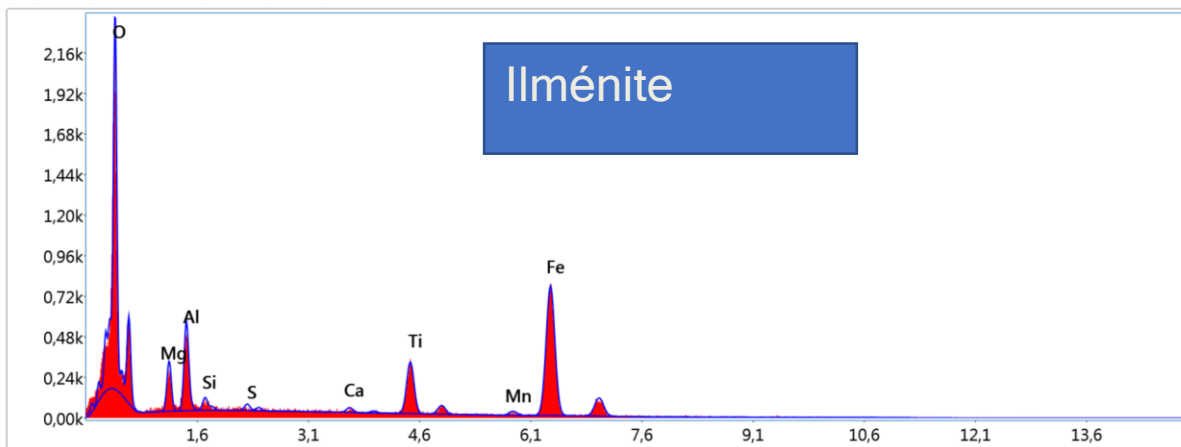


100% Element CP1

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.87	53.96	10.49
NaK	1.15	1.17	17.19
MgK	7.87	7.58	7.62
AlK	6.06	5.26	7.29
SiK	21.32	17.78	5.38
CaK	17.32	10.12	4.01
TiK	2.58	1.26	9.95
FeK	6.83	2.86	8.49

EDS Spot 7

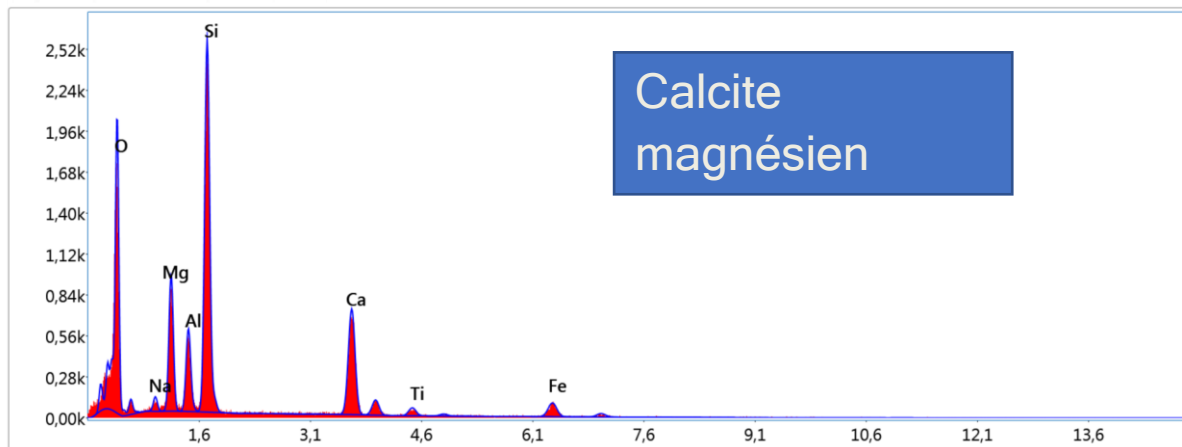
Spot 7 (4) (Analyse V) Zone 1 (1) EDS Spot 7



120kV 10mmx5.02µm

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	25.18	49.84	9.75
MgK	3.71	4.83	10.94
AlK	5.70	6.69	8.92
SiK	0.76	0.86	15.94
S K	0.46	0.45	35.09
CaK	0.60	0.47	33.95
TiK	8.33	5.51	6.21
MnK	1.31	0.75	30.85
FeK	53.95	30.59	3.78

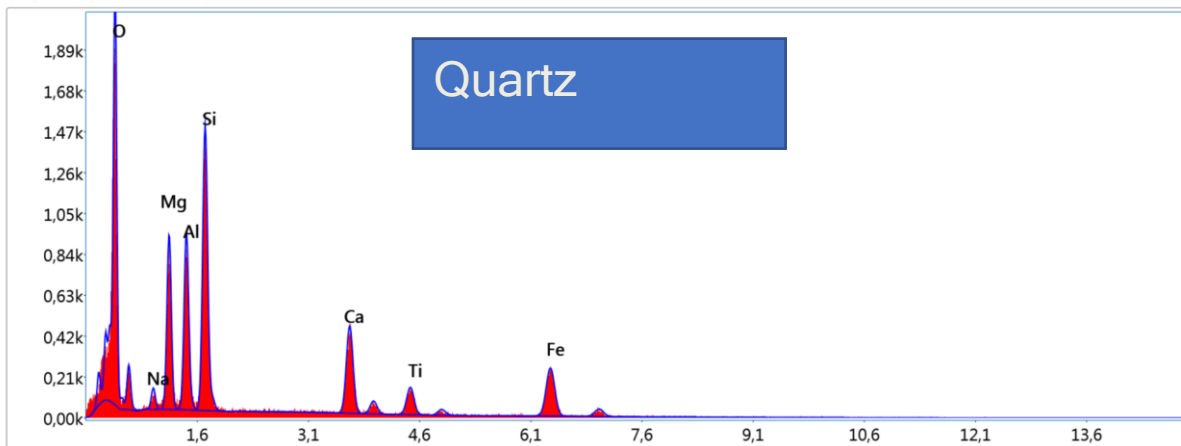
EDS Spot 8



0,00 0,28 0,56 0,84 1,12 1,40 1,68 1,96 2,24 2,52

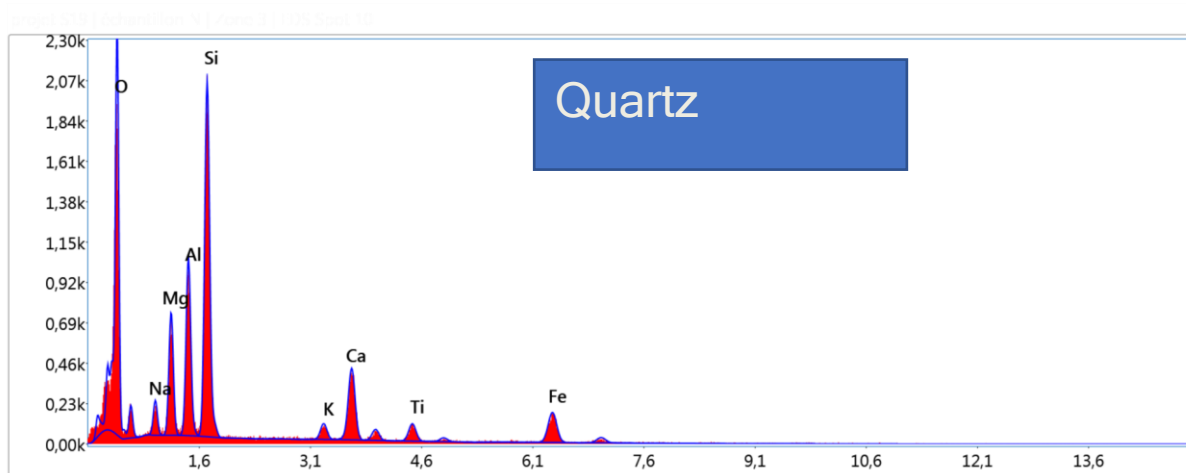
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.93	53.90	10.45
NaK	1.30	1.32	16.79
MgK	8.22	7.89	7.59
AlK	5.03	4.35	7.43
SiK	22.44	18.66	5.32
CaK	17.33	10.10	4.01
TiK	1.76	0.86	15.94
FeK	6.99	2.92	8.11

EDS Spot 9



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	33.77	52.22	10.13
NaK	1.64	1.76	15.62
MgK	8.70	8.85	8.11
AlK	8.72	8.00	7.46
SiK	13.95	12.29	6.23
CaK	10.52	6.50	4.81
TiK	4.41	2.28	7.98
FeK	18.29	8.10	5.28

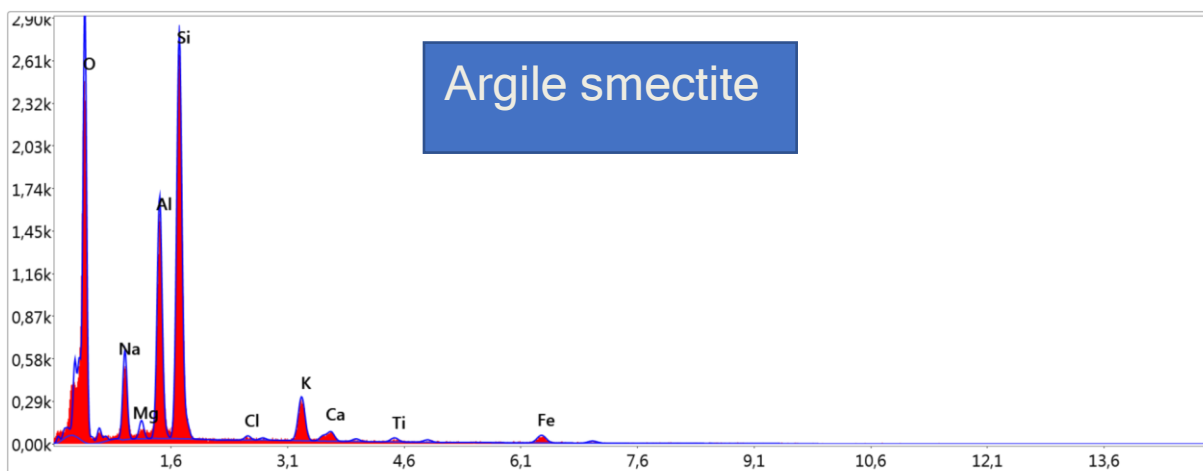
EDS Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.15	53.61	10.11
NaK	2.72	2.80	12.81
MgK	6.44	6.28	8.08
AlK	9.09	7.99	7.10
SiK	18.55	15.67	5.78
K K	1.69	1.02	13.87
CaK	9.63	5.70	4.92
TiK	3.14	1.56	9.99
FeK	12.60	5.35	6.24

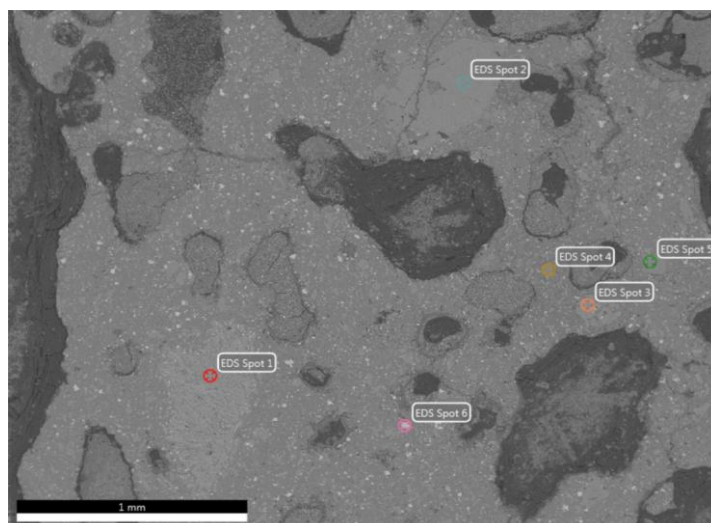
EDS Spot 11



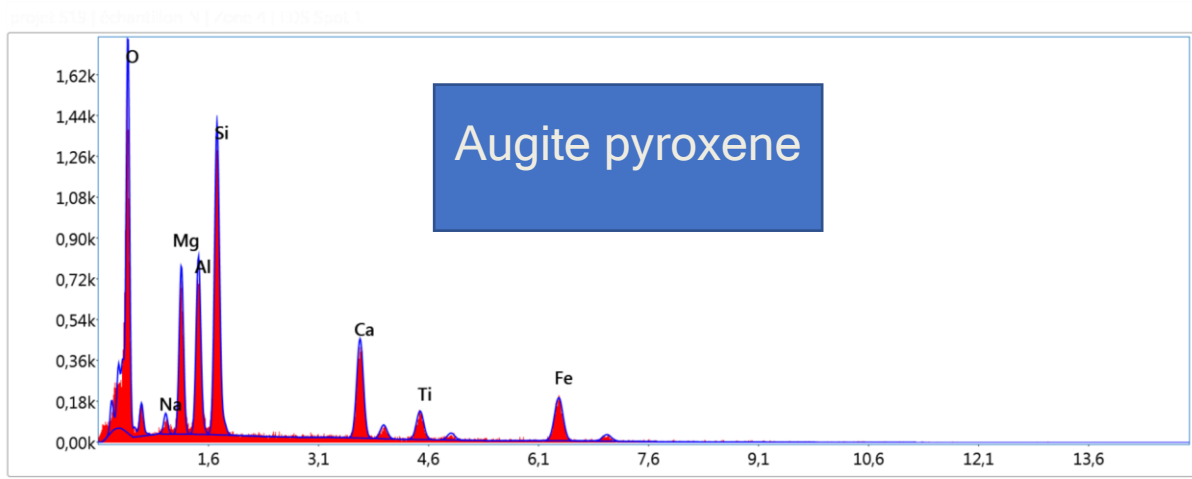
Det: Element-C20

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	40.53	55.39	9.59
NaK	7.23	6.88	8.92
MgK	1.09	0.98	11.68
AlK	13.63	11.05	5.91
SiK	24.89	19.38	5.39
ClK	0.43	0.26	34.83
K K	5.89	3.30	6.23
CaK	1.57	0.86	14.95
TiK	0.90	0.41	20.02
FeK	3.85	1.51	11.19

Zone 4



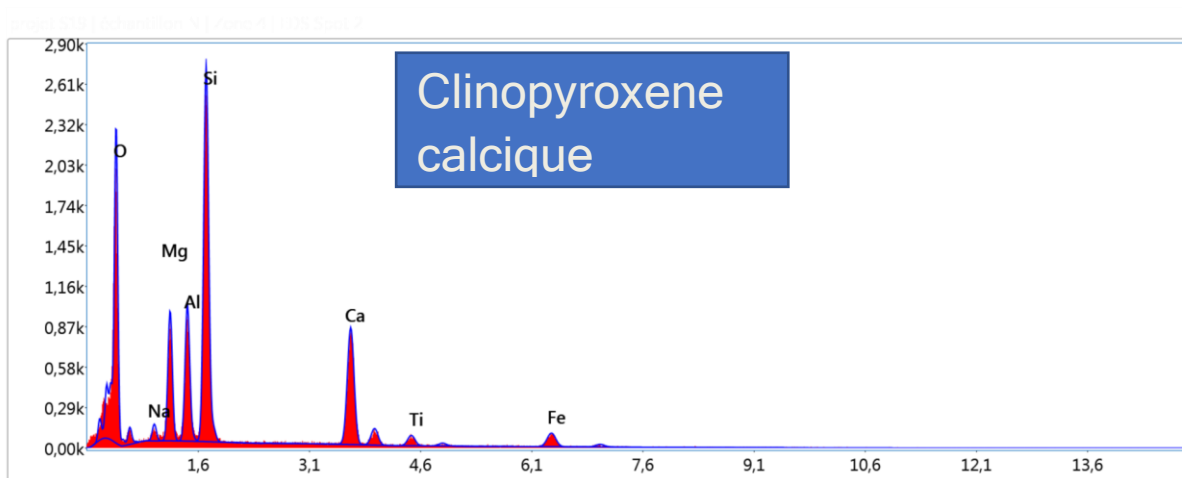
EDS Spot 1



EDS comment: 12/21

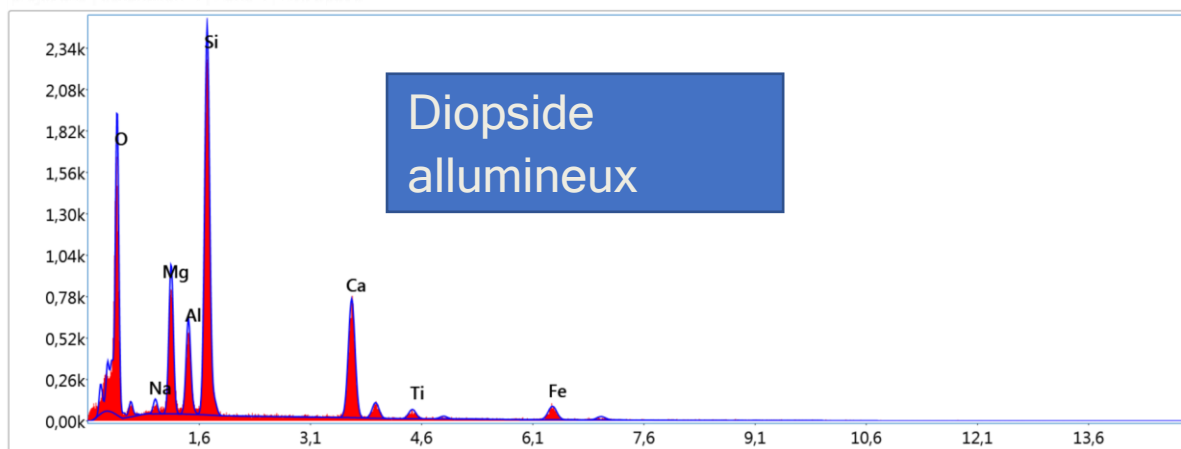
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	33.62	51.89	10.35
NaK	1.55	1.66	17.39
MgK	8.23	8.37	8.18
AlK	8.60	7.87	7.49
SiK	15.02	13.20	6.17
CaK	11.96	7.37	4.79
TiK	4.65	2.40	7.92
FeK	16.37	7.24	5.94

EDS Spot 2



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.89	53.84	10.42
NaK	1.38	1.40	14.97
MgK	7.15	6.87	7.59
AlK	7.49	6.48	6.80
SiK	20.99	17.45	5.38
CaK	17.61	10.26	3.86
TiK	2.13	1.04	11.84
FeK	6.35	2.66	8.34

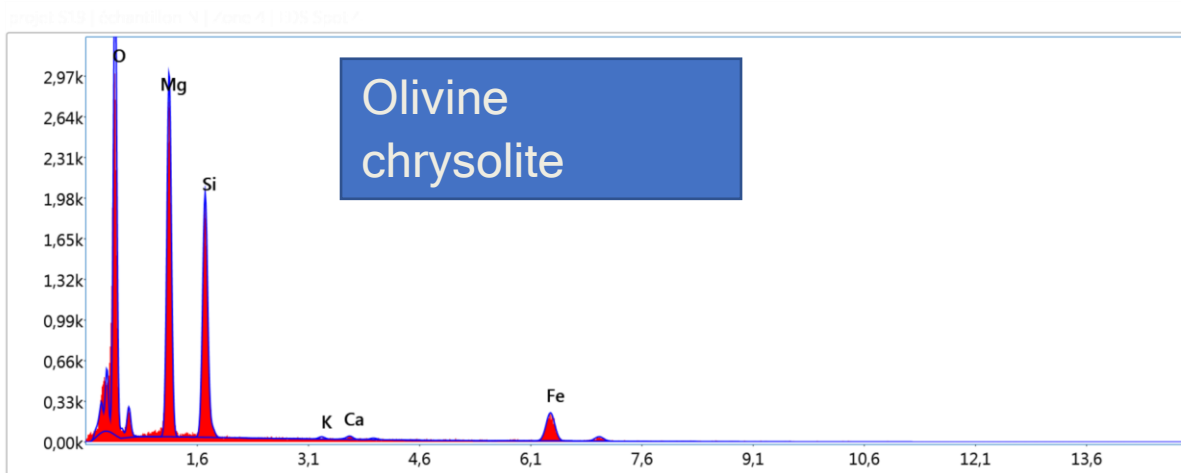
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

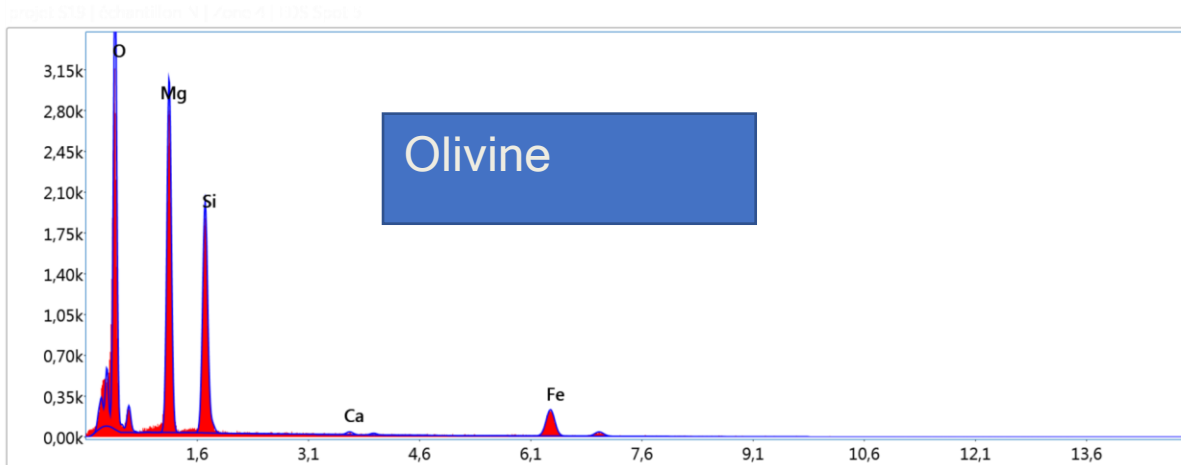
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.45	53.37	10.53
NaK	1.25	1.27	16.93
MgK	8.37	8.07	7.57
AlK	5.41	4.70	7.37
SiK	21.95	18.31	5.36
CaK	18.21	10.65	3.98
TiK	1.94	0.95	13.57
FeK	6.41	2.69	8.27

EDS Spot 4



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.14	53.86	8.66
MgK	25.63	23.82	6.84
SiK	18.74	15.07	6.03
K K	0.36	0.21	39.36
CaK	0.62	0.35	33.61
FeK	16.52	6.68	5.29

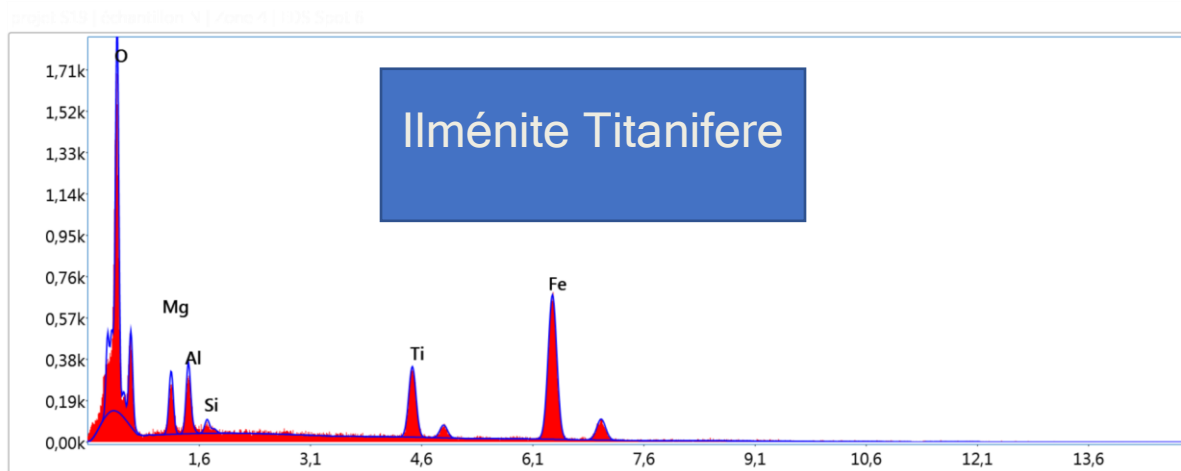
EDS Spot 5



Data Element Counts

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.91	53.49	8.63
MgK	26.31	24.43	6.80
SiK	18.84	15.14	6.05
CaK	0.59	0.33	30.43
FeK	16.36	6.61	5.30

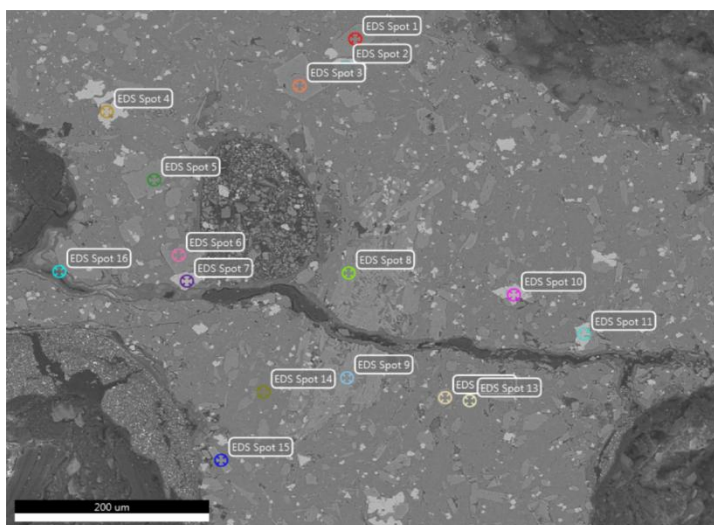
EDS Spot 6



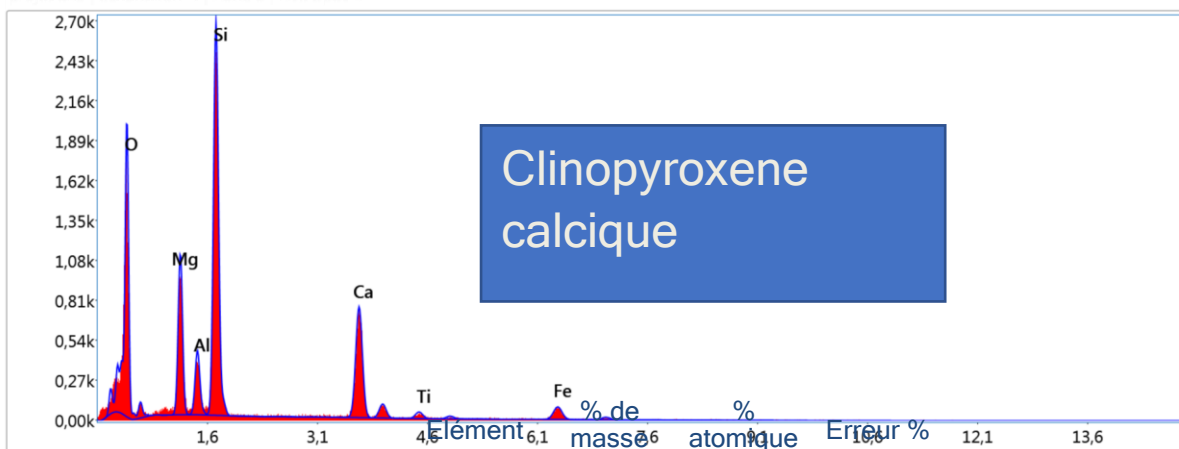
Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.89	49.75	9.96
MgK	4.32	5.69	10.99
AlK	4.23	5.02	10.11
SiK	0.75	0.85	16.47
TiK	10.48	7.00	5.60
FeK	55.33	31.69	3.85

Zone 5



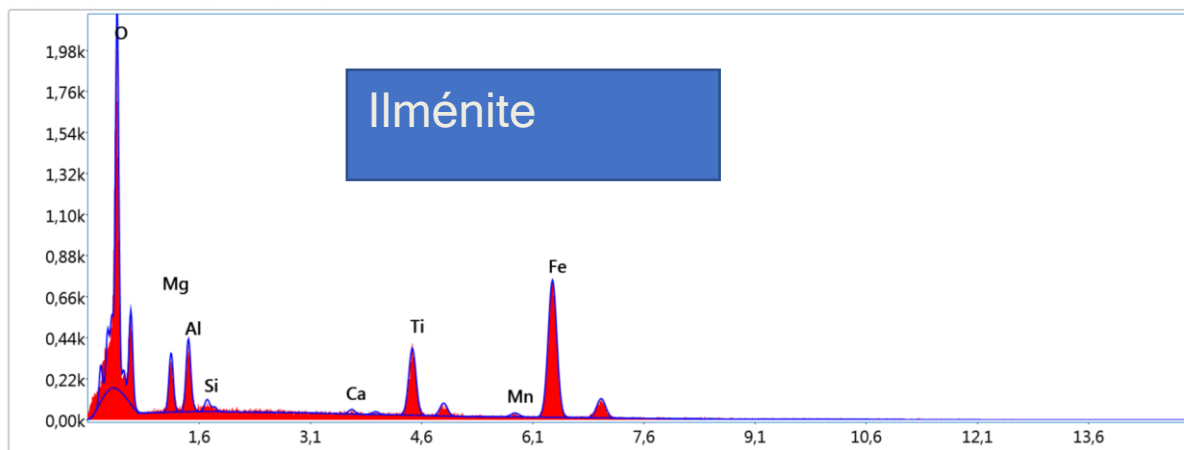
EDS Spot 1



Don't Element: Ca

Element	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.31	54.30	10.49
MgK	9.47	9.08	7.40
AlK	3.89	3.35	8.07
SiK	23.36	19.37	5.25
CaK	18.15	10.54	3.96
TiK	1.47	0.71	16.52
FeK	6.35	2.65	9.18

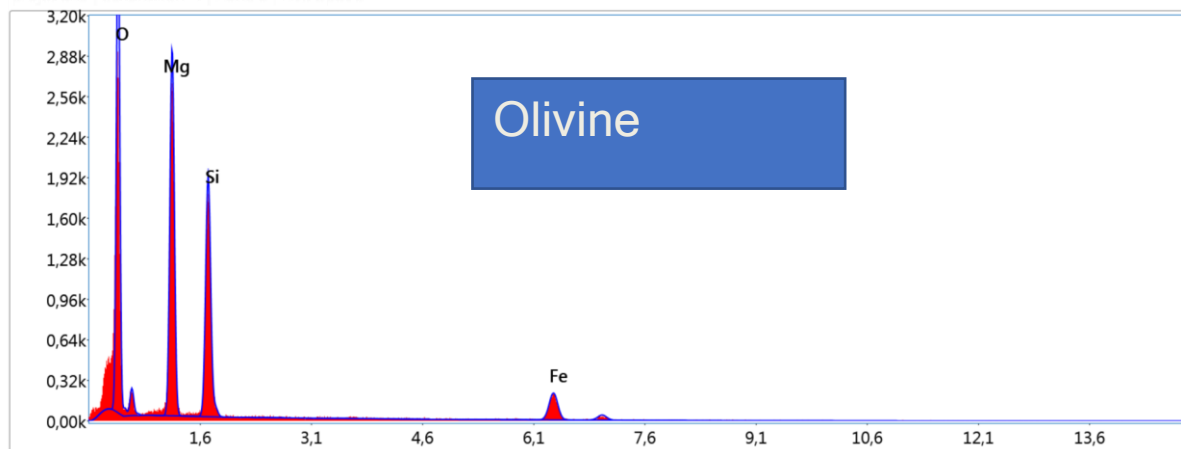
EDS Spot 2



Doc: Ilménite 214

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	25.16	50.09	9.90
MgK	4.12	5.39	10.85
AlK	4.44	5.24	9.72
SiK	0.67	0.76	16.83
CaK	0.54	0.43	40.71
TiK	10.18	6.78	5.41
MnK	1.22	0.71	31.61
FeK	53.67	30.61	3.81

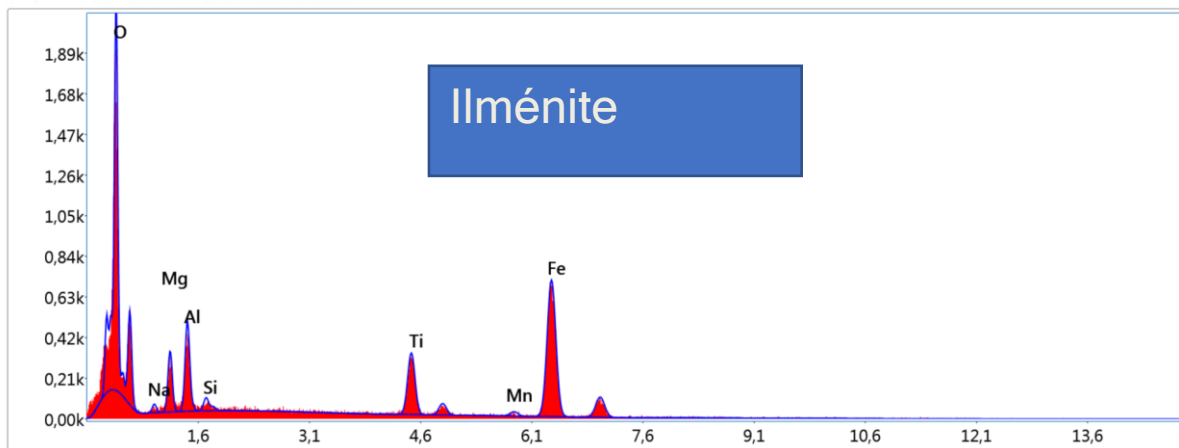
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

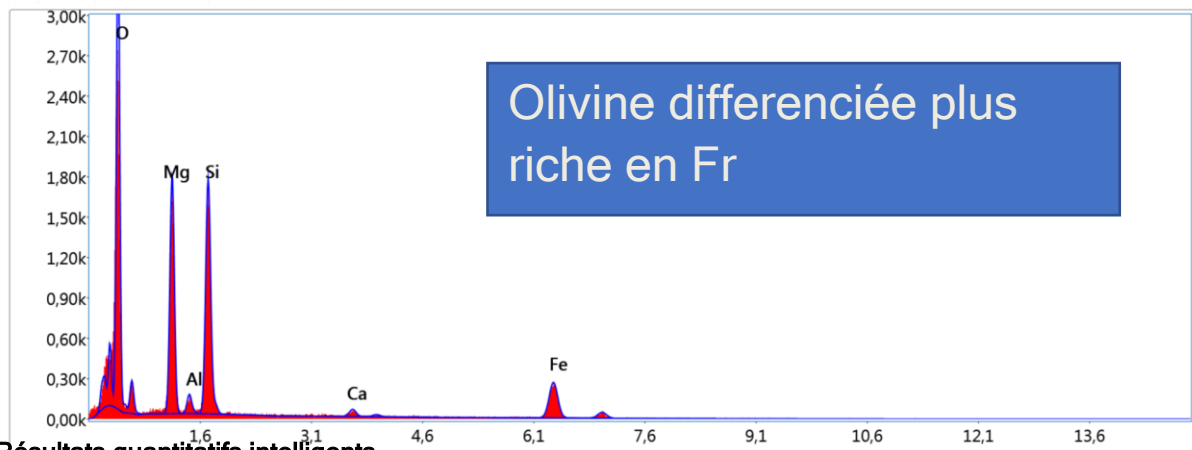
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	39.10	54.63	8.52
MgK	26.09	24.00	6.81
SiK	18.80	14.97	6.06
FeK	16.01	6.41	5.42

EDS Spot 4



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.55	48.64	9.82
NaK	0.99	1.37	26.70
MgK	4.22	5.51	10.86
AlK	5.45	6.41	9.03
SiK	0.74	0.83	16.37
TiK	9.32	6.17	5.66
MnK	1.33	0.77	31.37
FeK	53.39	30.30	3.83

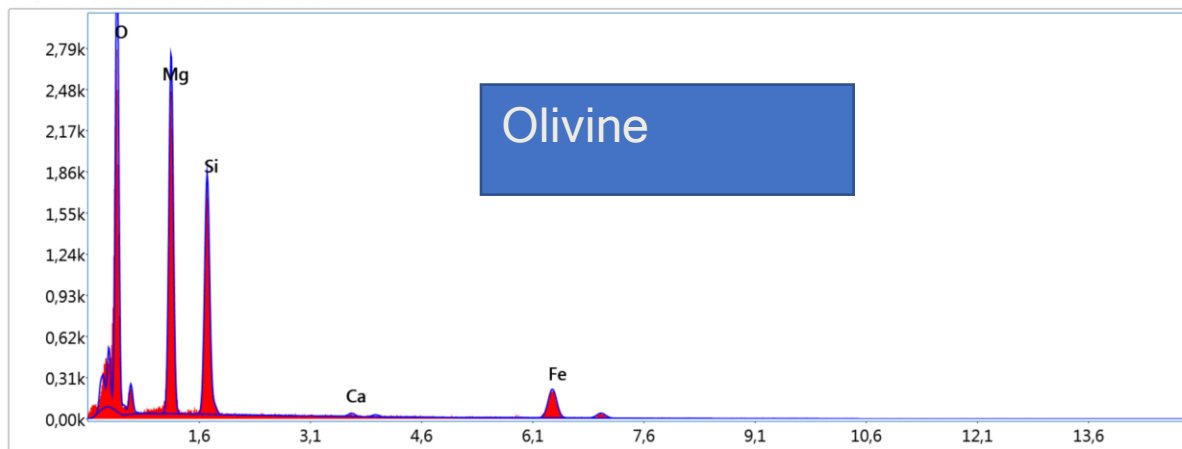
EDS Spot 5



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.69	56.09	8.72
MgK	18.44	17.59	7.36
AlK	1.62	1.40	12.84
SiK	18.41	15.20	6.10
CaK	1.36	0.79	16.93
FeK	21.49	8.93	5.06

EDS Spot 6

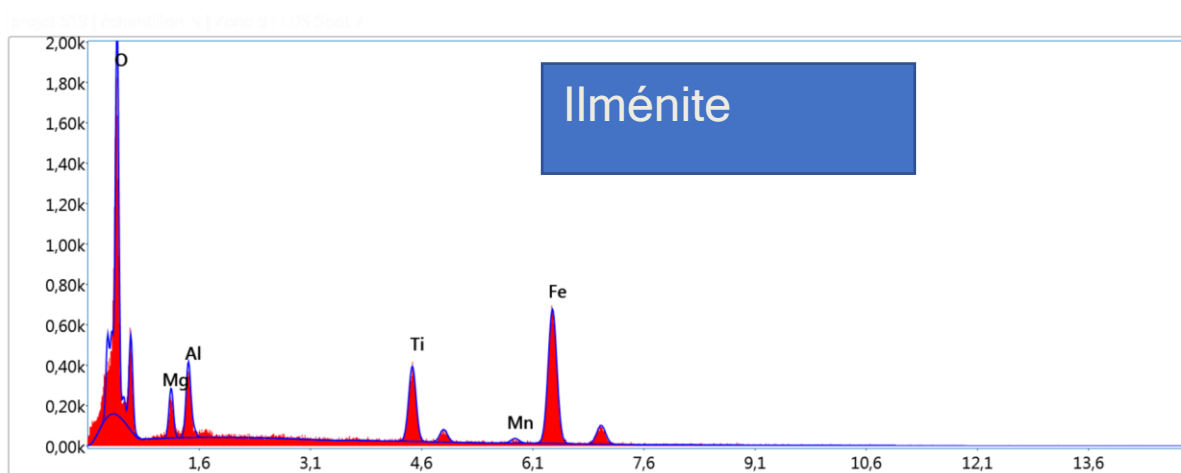


EDS - Element EDS

Résultats quantitatifs intelligents

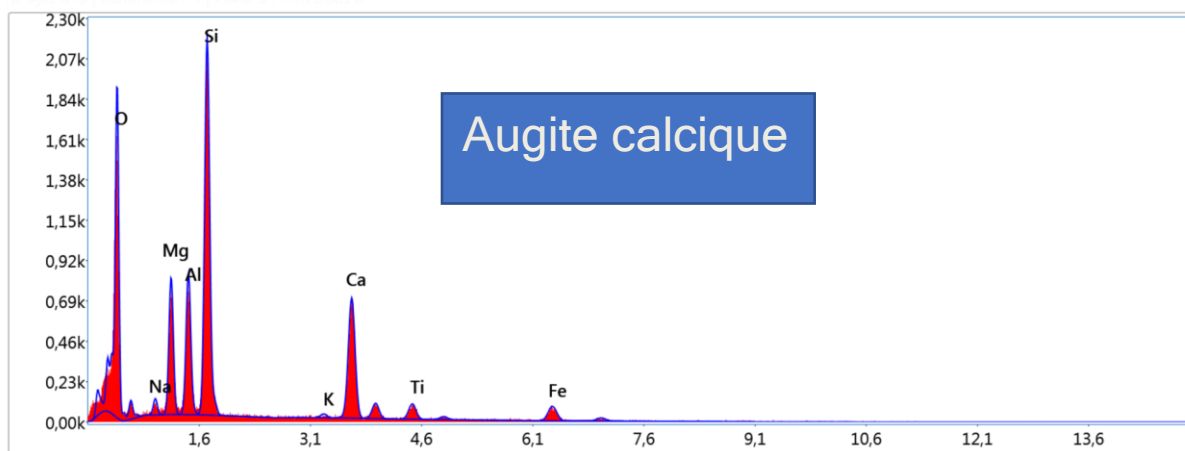
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.46	53.20	8.68
MgK	25.88	24.20	6.88
SiK	18.87	15.27	6.09
CaK	0.63	0.35	26.18
FeK	17.16	6.98	5.36

EDS Spot 7



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	26.58	52.26	9.96
MgK	3.46	4.48	11.22
AlK	4.57	5.33	9.52
TiK	11.44	7.52	5.28
MnK	1.44	0.82	28.08
FeK	52.51	29.58	3.91

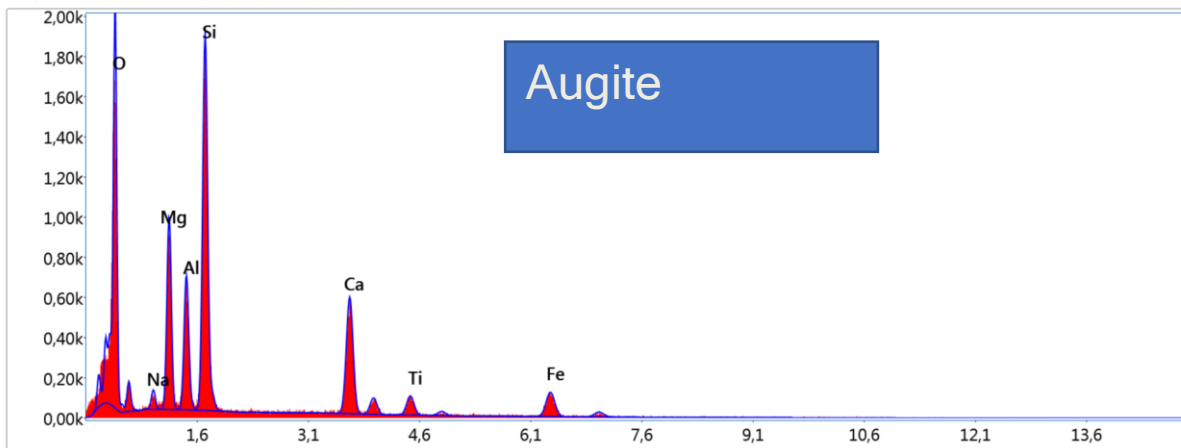
EDS Spot 8



100% Elements (2)

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.18	54.31	10.53
NaK	1.28	1.31	16.93
MgK	7.18	6.91	7.73
AlK	7.46	6.46	7.06
SiK	20.02	16.66	5.48
K K	0.42	0.25	37.59
CaK	17.08	9.96	4.12
TiK	3.00	1.46	10.85
FeK	6.37	2.67	8.77

EDS Spot 9



120kV, 10mm, 0.20mm

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.87	54.24	10.38
NaK	1.41	1.44	17.00
MgK	9.28	8.98	7.71
AlK	6.57	5.73	7.40
SiK	18.24	15.28	5.73
CaK	14.78	8.68	4.34
TiK	3.28	1.61	10.42
FeK	9.57	4.03	7.14

EDS Spot 10

Image 1000 | Séquence 1 | Zone 1 | EDS Spot 10

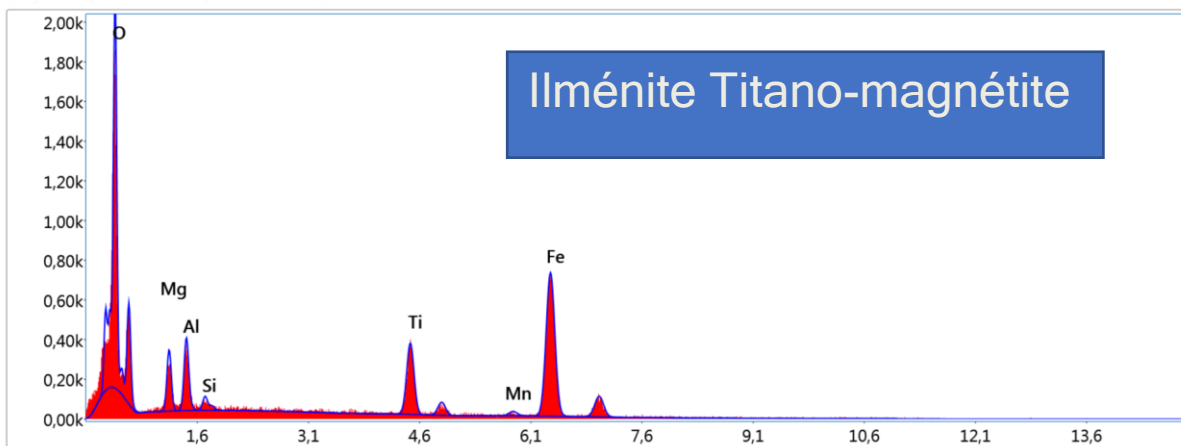
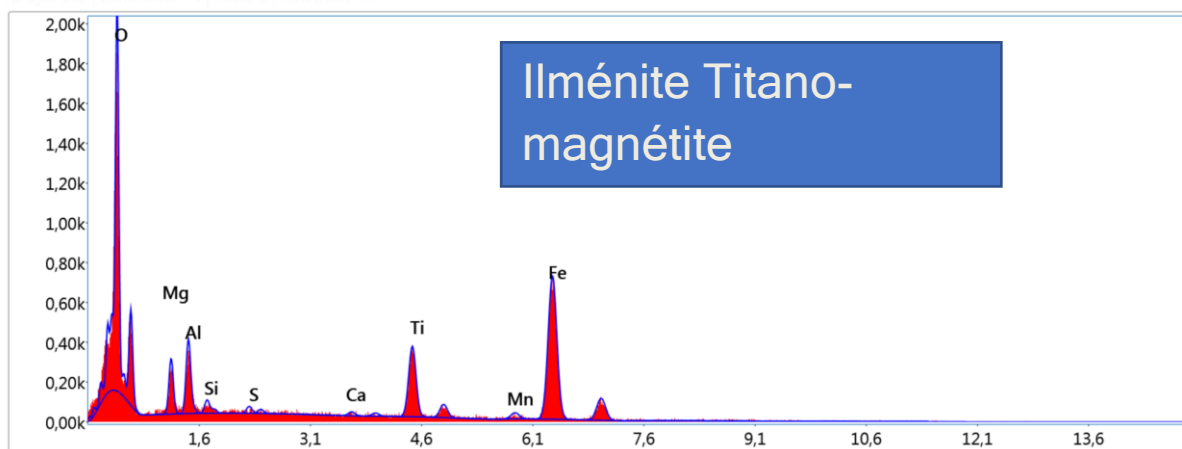


Image 1000 | Zone 1 | EDS

Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.83	49.73	9.90
MgK	4.14	5.46	10.90
AlK	4.30	5.10	9.85
SiK	0.75	0.85	14.94
TiK	10.46	7.00	5.38
MnK	1.26	0.74	31.23
FeK	54.26	31.13	3.81

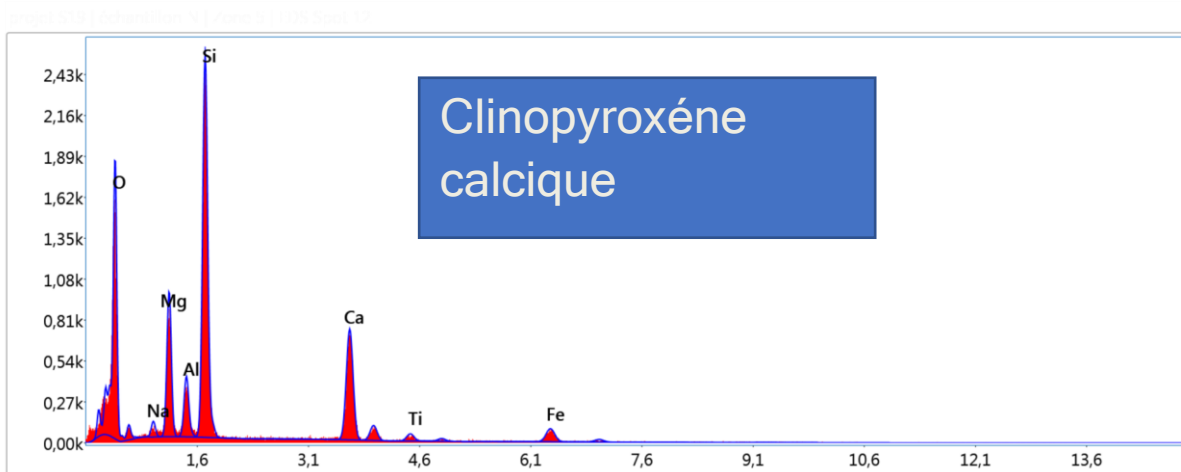
EDS Spot 11



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.73	49.62	9.94
MgK	3.70	4.89	11.05
AlK	4.32	5.14	9.61
SiK	0.71	0.81	16.32
S K	0.43	0.43	32.46
CaK	0.44	0.35	46.81
TiK	10.27	6.89	5.56
MnK	1.84	1.07	23.30
FeK	53.57	30.79	3.83

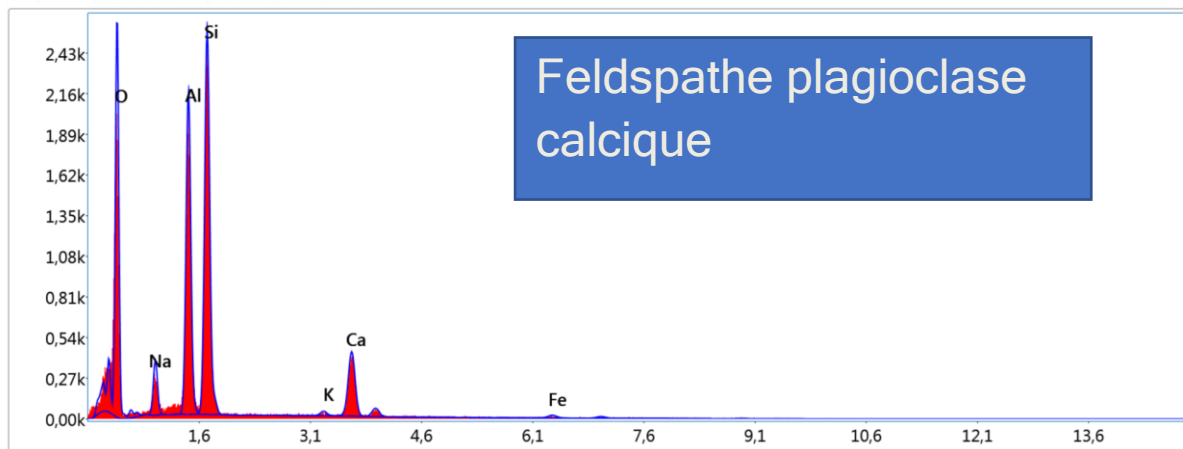
EDS Spot 12



14061466001_021

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
N K	0.74	1.23	90.39
O K	36.13	52.66	10.55
NaK	1.40	1.42	15.23
MgK	8.73	8.37	7.57
AlK	3.69	3.19	8.43
SiK	22.89	19.00	5.27
CaK	18.19	10.58	3.98
TiK	1.59	0.77	14.01
FeK	6.65	2.78	8.52

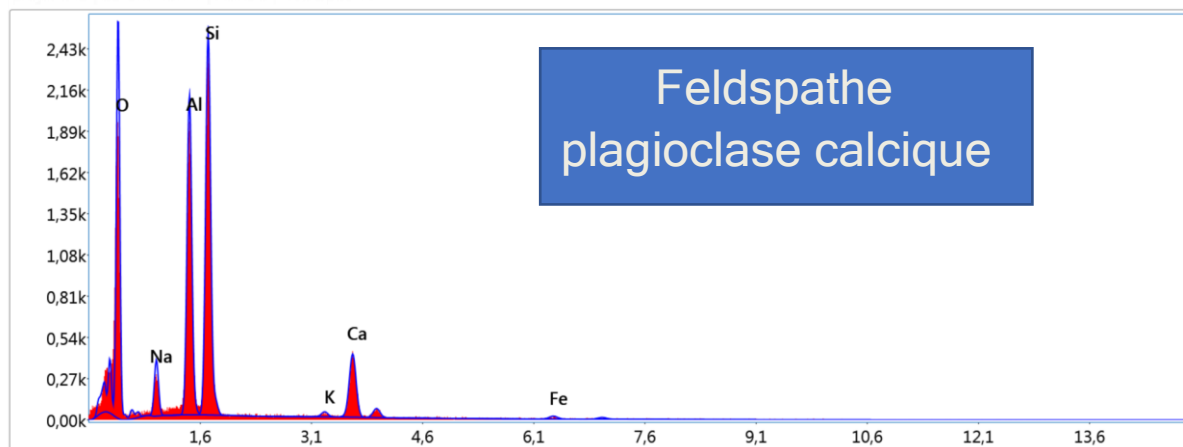
EDS Spot 13



00k Element 12.0

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	41.73	56.73	9.94
NaK	4.31	4.07	9.71
AlK	17.49	14.10	5.50
SiK	23.77	18.41	5.44
K K	0.60	0.33	28.65
CaK	10.72	5.82	4.76
FeK	1.38	0.54	21.41

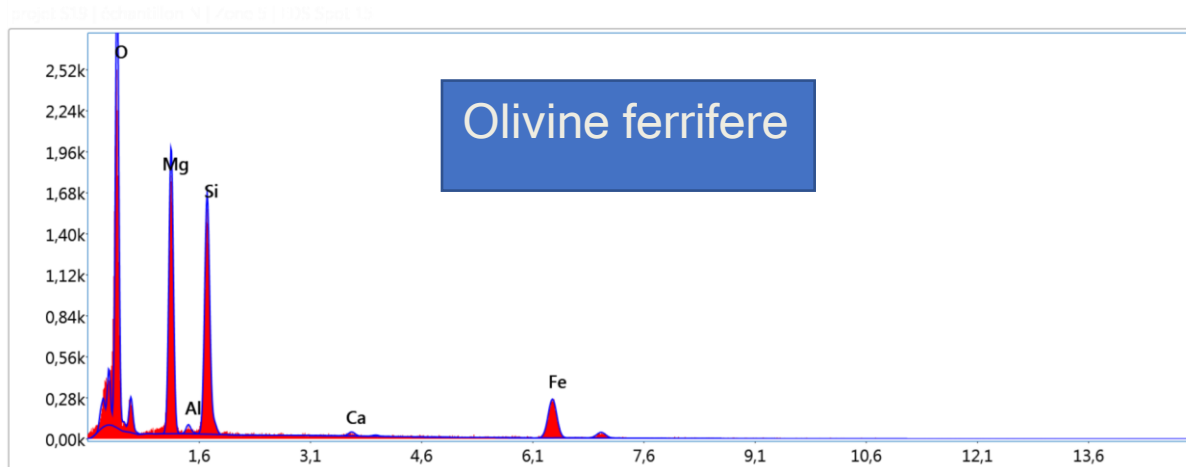
EDS Spot 14



020110000001_0201

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	41.87	56.88	9.94
NaK	4.40	4.16	9.70
AlK	17.40	14.01	5.52
SiK	23.63	18.28	5.45
K K	0.66	0.37	24.70
CaK	10.56	5.72	4.82
FeK	1.48	0.58	20.34

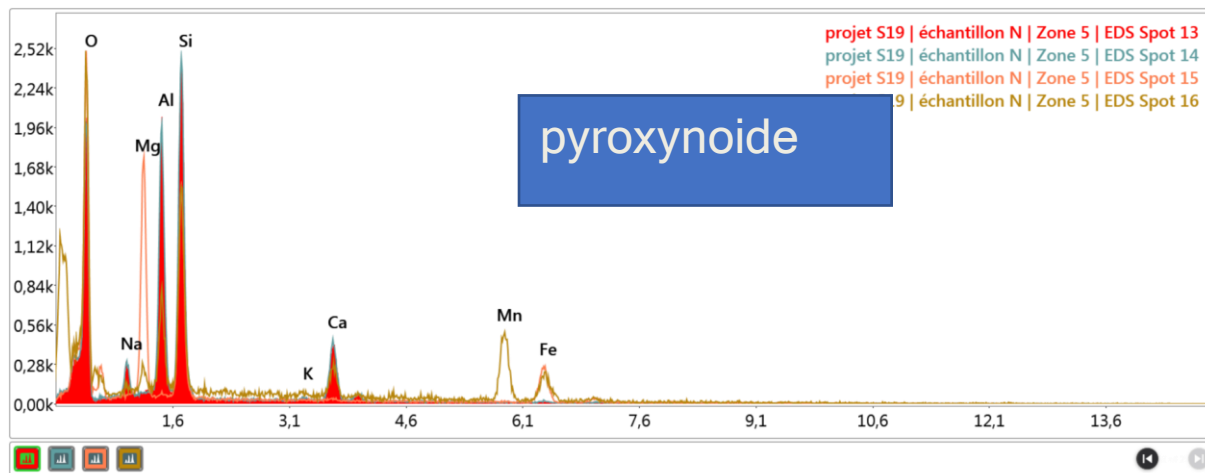
EDS Spot 15



1200 (Sample: 127)

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.07	53.18	8.73
MgK	21.31	20.68	7.31
AlK	0.77	0.67	18.09
SiK	18.39	15.44	6.16
CaK	0.75	0.44	28.61
FeK	22.71	9.59	4.82

EDS Spot 16



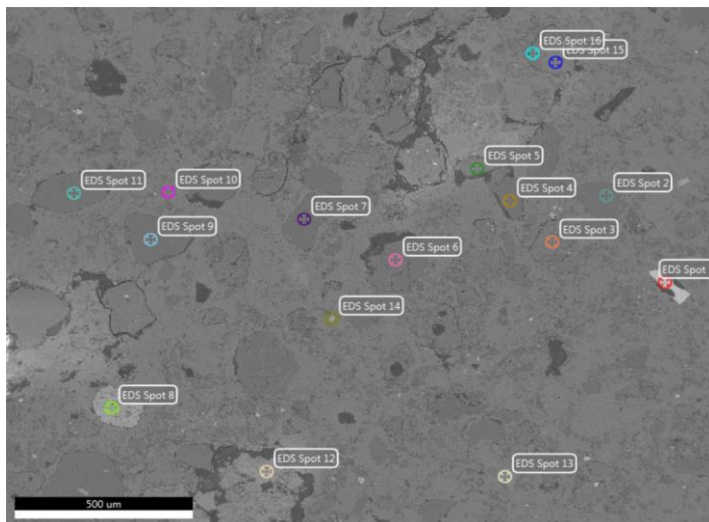
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	30.58	52.27	10.00
MgK	2.76	3.10	13.11
AlK	7.27	7.37	9.23
SiK	14.22	13.84	7.09
CaK	5.55	3.79	10.16
MnK	27.82	13.85	5.65
FeK	11.80	5.78	9.68

Auteur : STRATIGRAPHIE DLAB SONATRACH

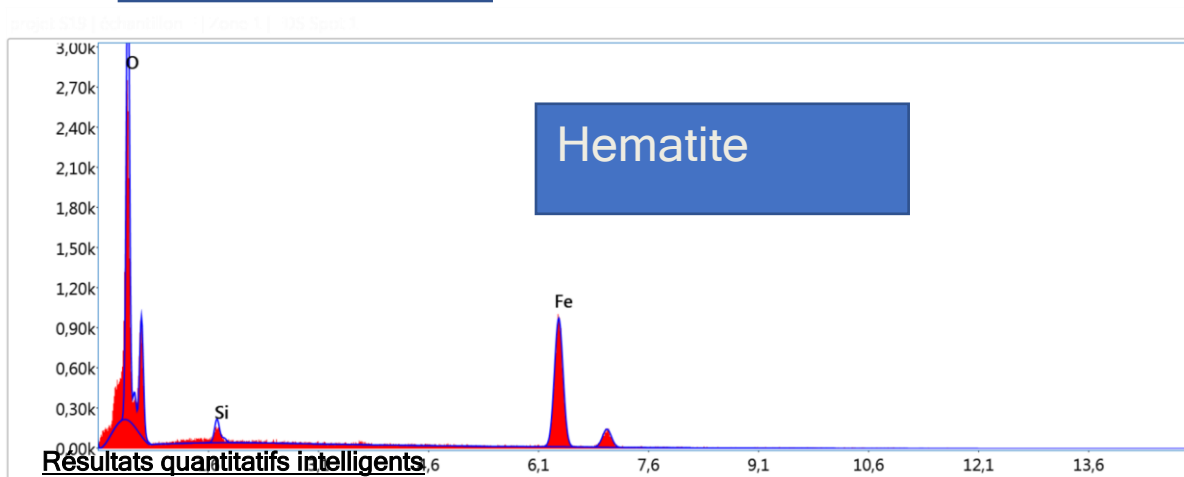
Création : 05/07/2026 3 :03 :00

Nom de l'échantillon : F

Zone 1

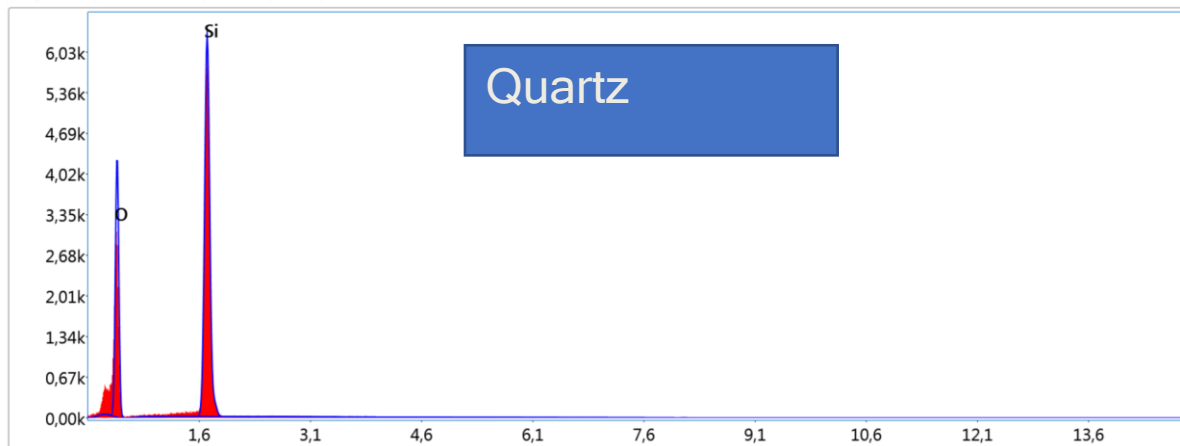


EDS Spot 1



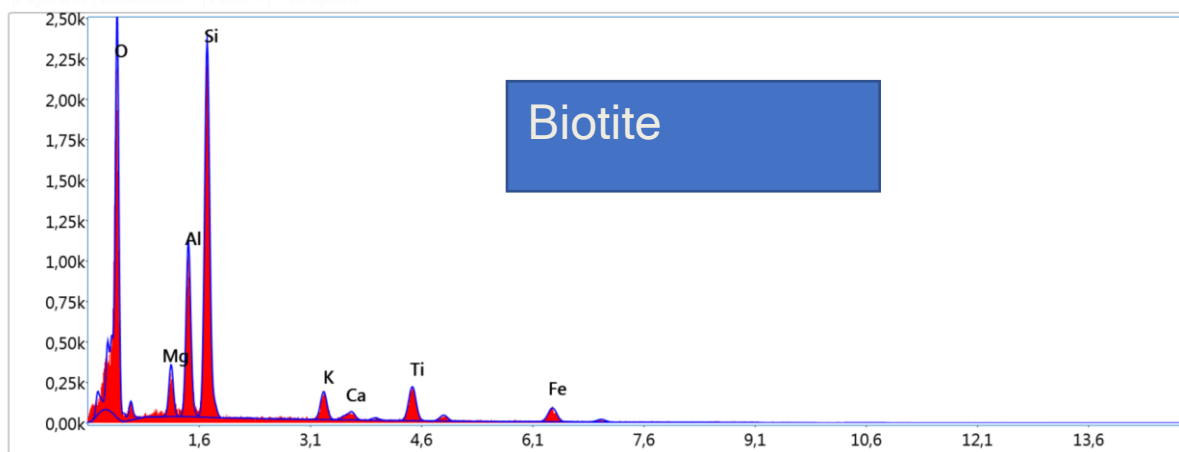
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	28.93	58.09	7.99
SiK	1.80	2.06	10.67
FeK	69.27	39.85	3.56

EDS Spot 2



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.57	64.24	8.94
SiK	49.43	35.76	3.75

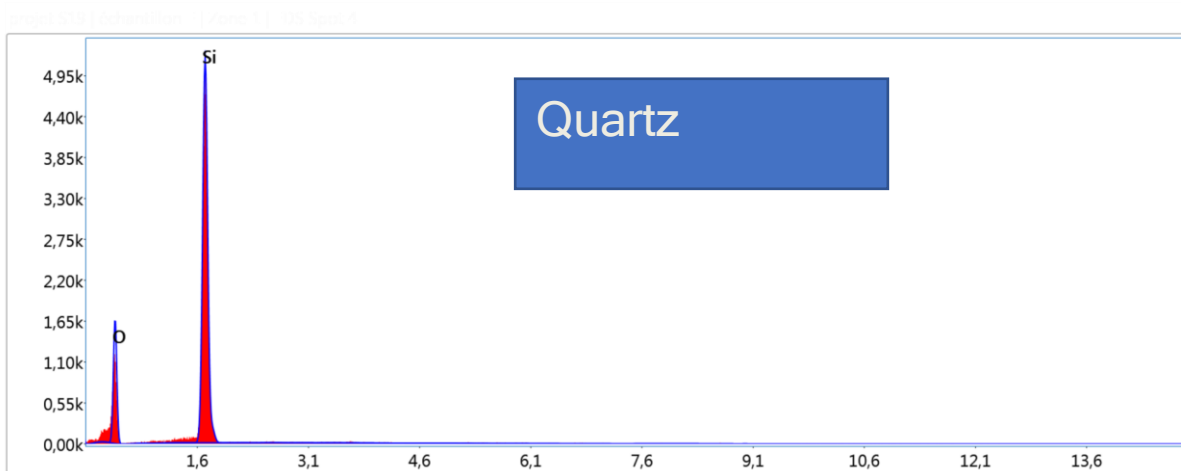
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	43.05	60.34	9.96
MgK	3.19	2.95	9.04
AlK	10.31	8.57	6.37
SiK	23.48	18.75	5.38
K K	3.77	2.17	8.06
CaK	1.35	0.76	16.64
TiK	7.63	3.57	6.10
FeK	7.21	2.90	8.56

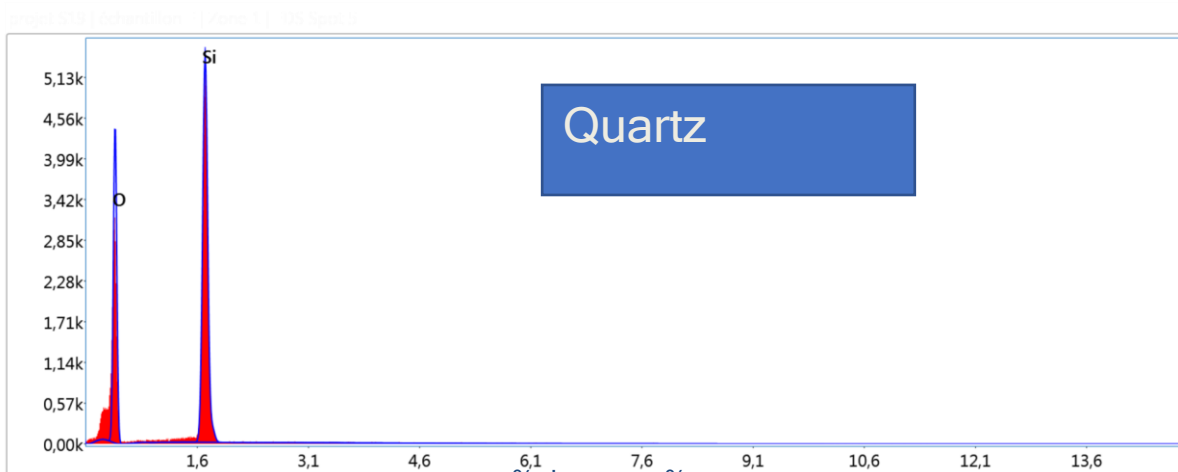
EDS Spot 4



Résultats quantitatifs intelligents

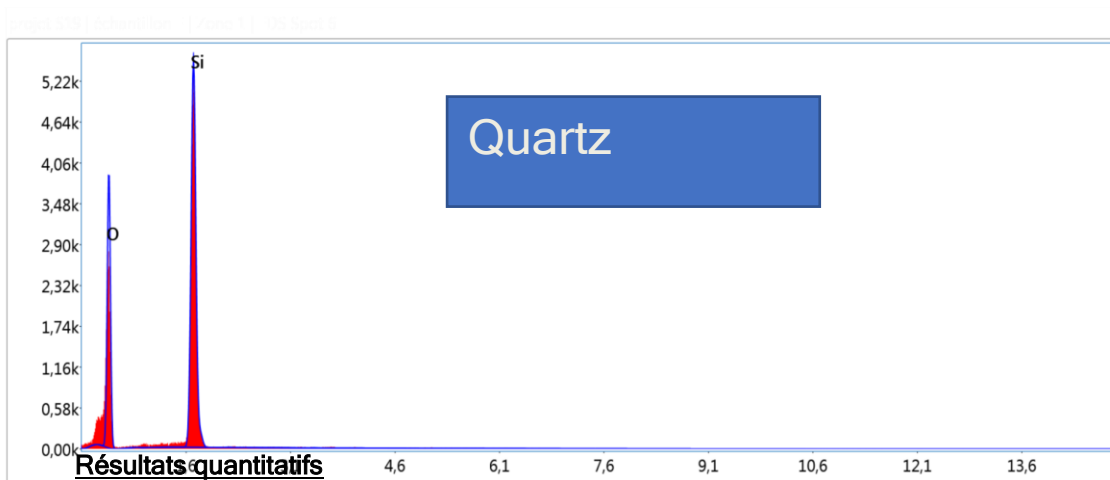
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.92	50.68	9.84
SiK	63.08	49.32	3.56

EDS Spot 5



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	53.92	67.26	8.80
SiK	46.08	32.74	3.85

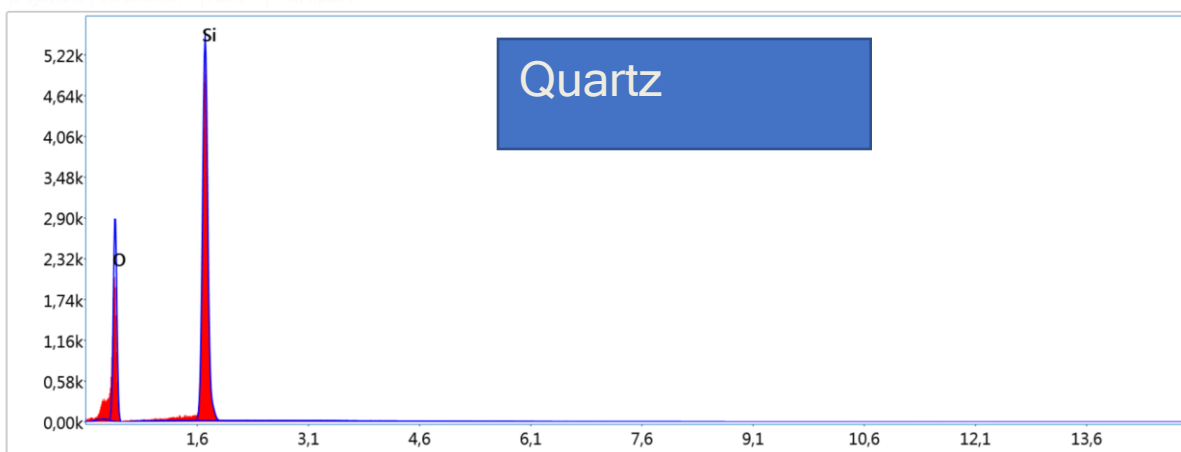
EDS Spot 6



Résultats quantitatifs
intelligents

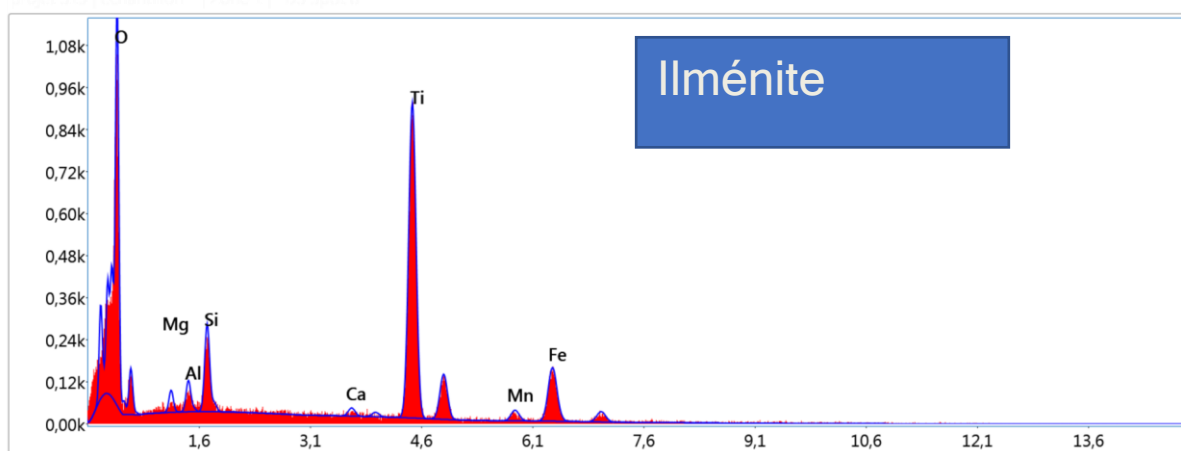
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O	51.4	65.0	8.9
K	1	0	4
Si	48.5	35.0	3.8
K	9	0	0

EDS Spot 7



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	46.15	60.07	9.23
Si K	53.85	39.93	3.71

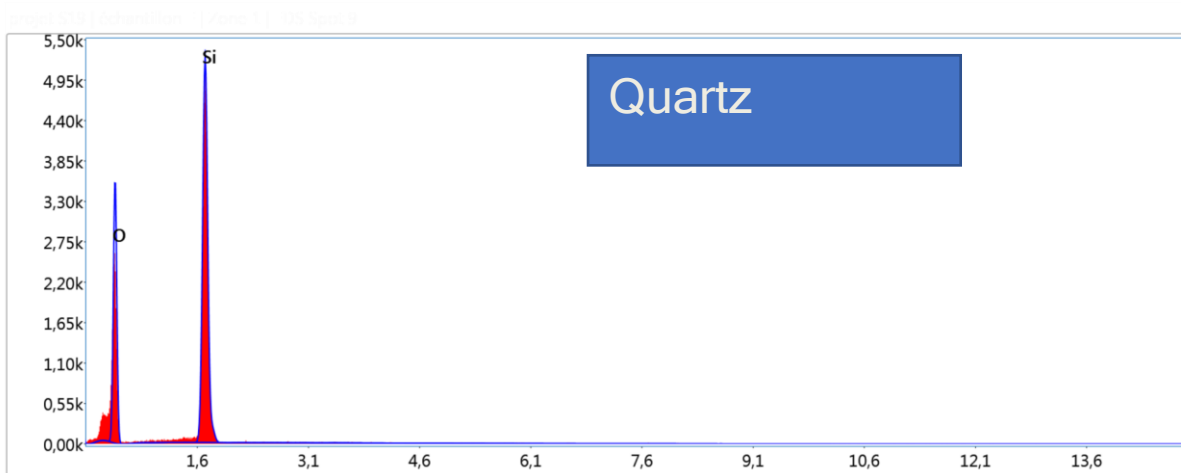
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	38.38	64.48	11.52
MgK	0.97	1.07	16.96
AlK	1.20	1.20	15.18
SiK	3.10	2.96	8.45
CaK	0.65	0.43	36.41
TiK	37.79	21.22	3.41
MnK	2.49	1.22	23.31
FeK	15.43	7.43	6.39

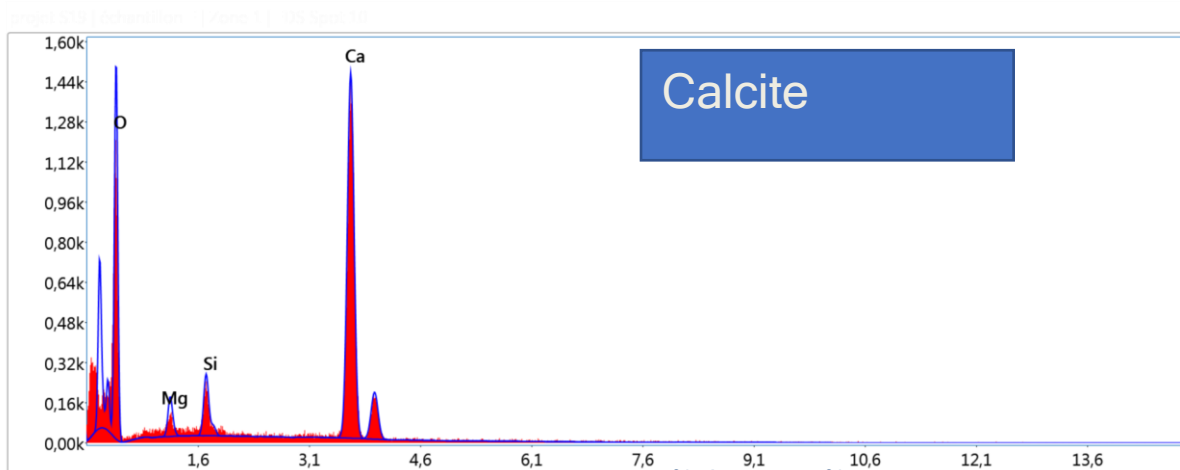
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

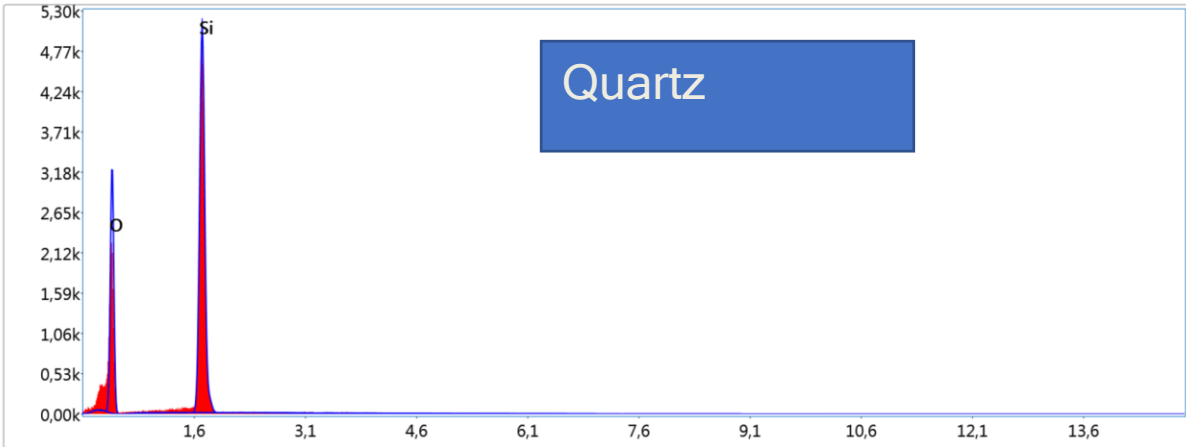
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.66	64.32	9.00
SiK	49.34	35.68	3.80

EDS Spot 10



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.99	72.12	11.17
MgK	1.88	1.72	11.32
SiK	2.61	2.06	7.78
CaK	43.53	24.10	2.99

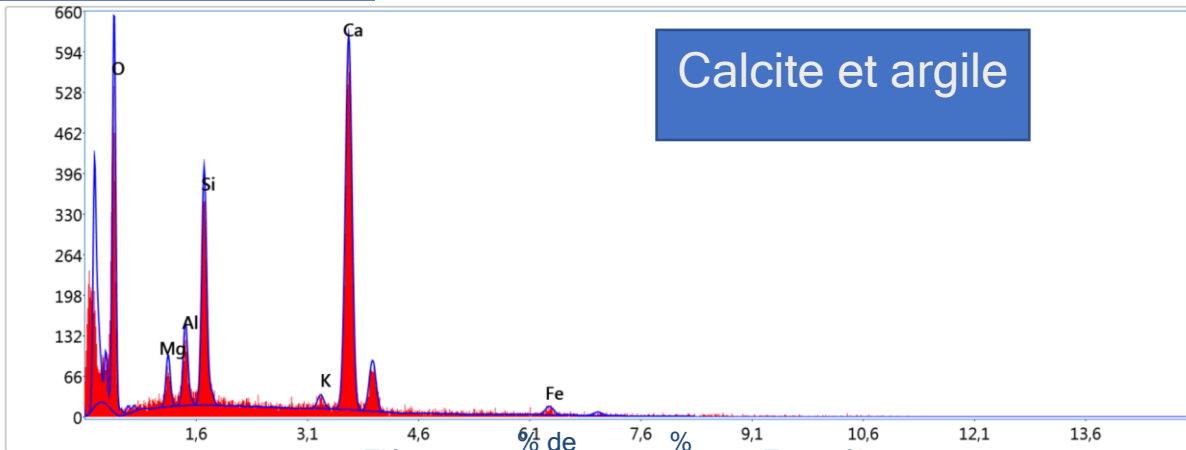
EDS Spot 11



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.36	63.11	9.08
SiK	50.64	36.89	3.78

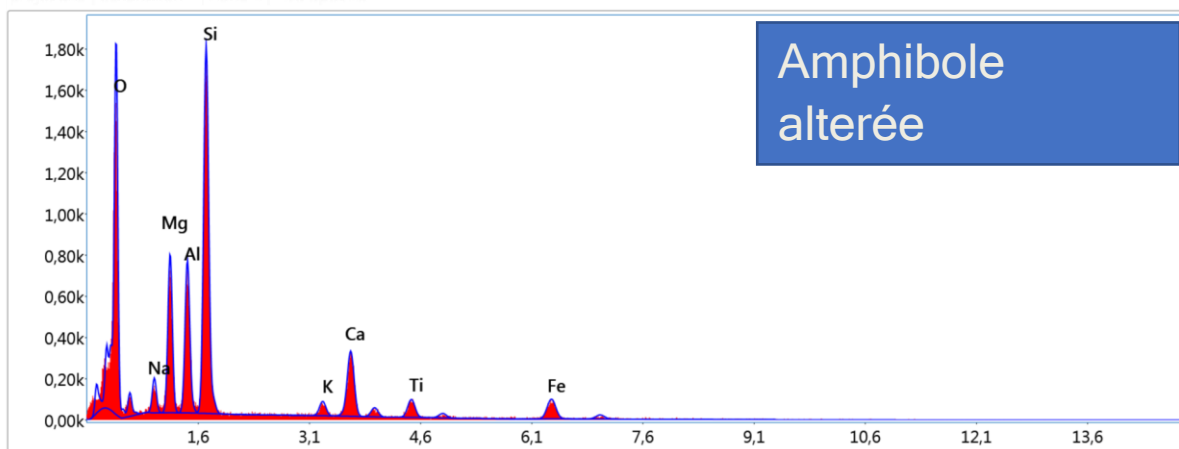
EDS Spot 12



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	44.54	64.56	11.74
MgK	2.07	1.98	12.74
AlK	3.08	2.65	10.96
SiK	8.63	7.13	6.71
K K	0.99	0.59	28.35
CaK	37.92	21.95	3.76
FeK	2.75	1.14	30.56

EDS Spot 13

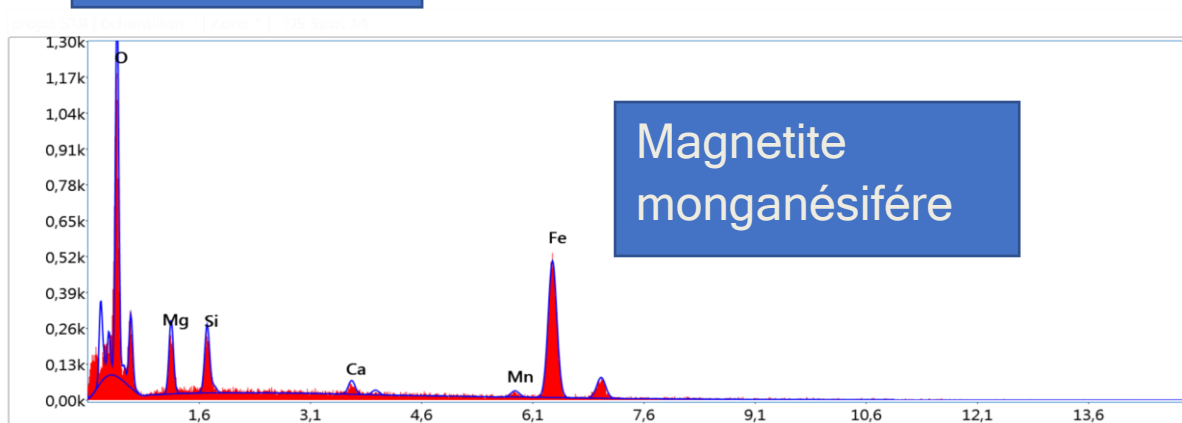
Image 512 | 10000000 | 10000000 | EDS Spot 13



Résultats quantitatifs intelligents

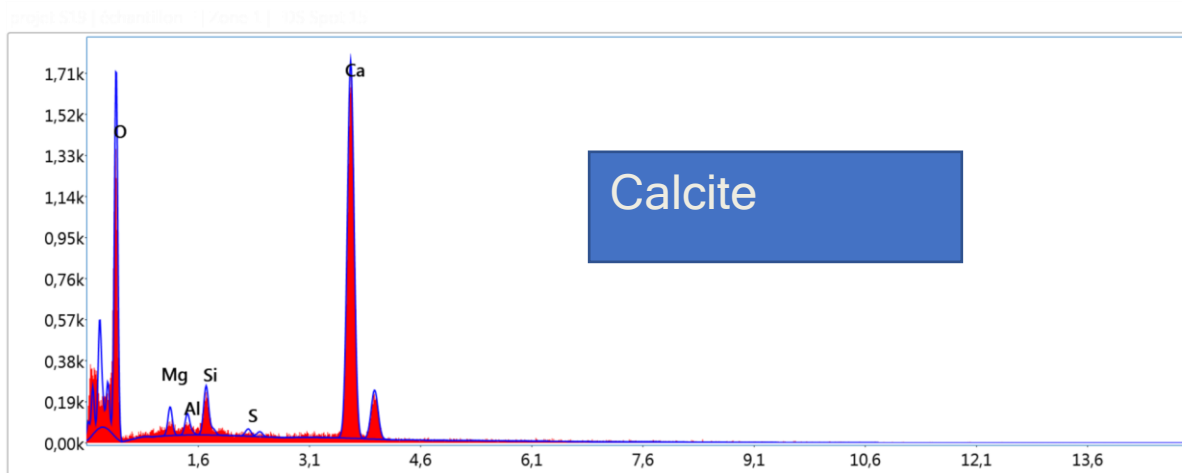
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	36.42	52.99	10.27
NaK	2.75	2.79	12.84
MgK	8.58	8.21	7.80
AlK	8.35	7.21	7.30
SiK	20.41	16.92	5.76
K K	1.65	0.98	16.58
CaK	9.47	5.50	5.39
TiK	3.50	1.70	9.90
FeK	8.88	3.70	7.87

EDS Spot 14



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.05	71.38	11.12
MgK	1.38	1.27	12.05
AlK	0.94	0.78	13.62
SiK	2.05	1.63	8.24
S K	0.40	0.28	23.50
CaK	44.18	24.66	2.89

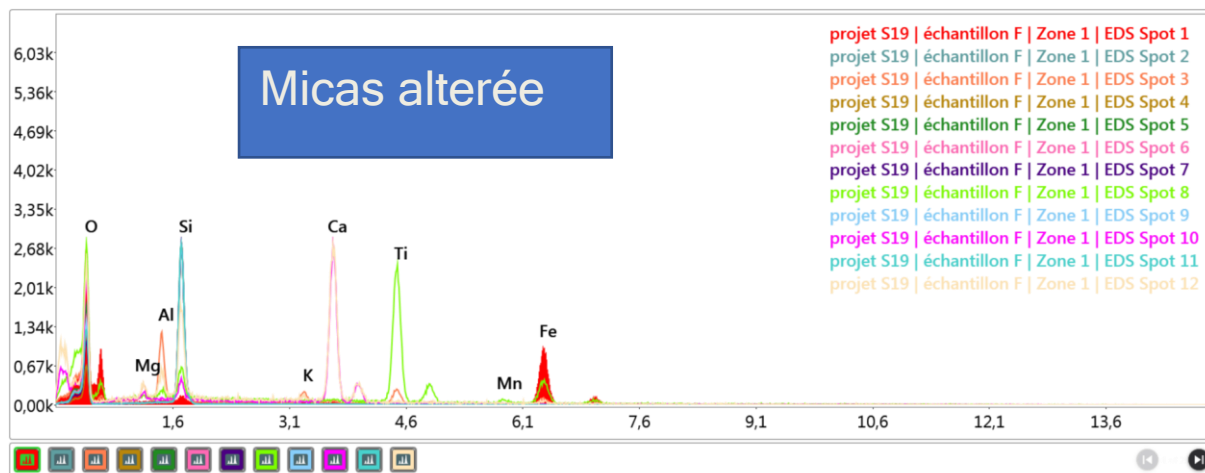
EDS Spot 15



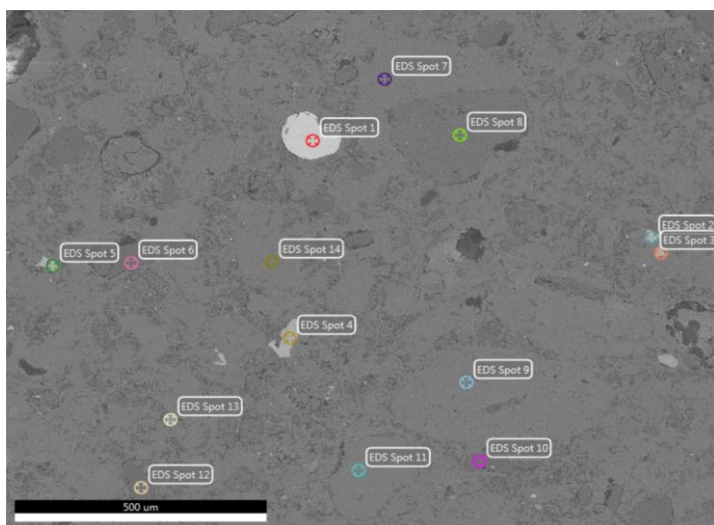
000110000010201

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.05	71.38	11.12
MgK	1.38	1.27	12.05
AlK	0.94	0.78	13.62
SiK	2.05	1.63	8.24
S K	0.40	0.28	23.50
CaK	44.18	24.66	2.89

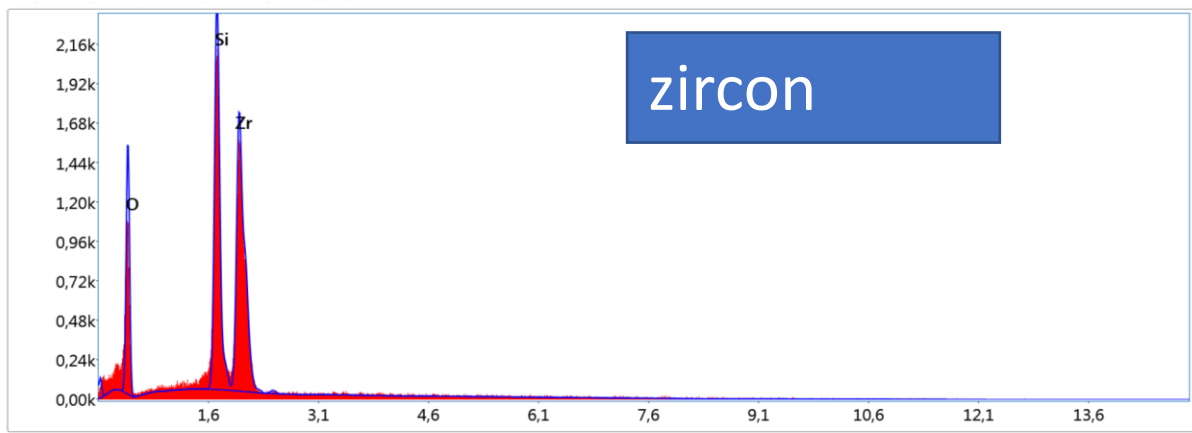
EDS Spot 16



Zone 2



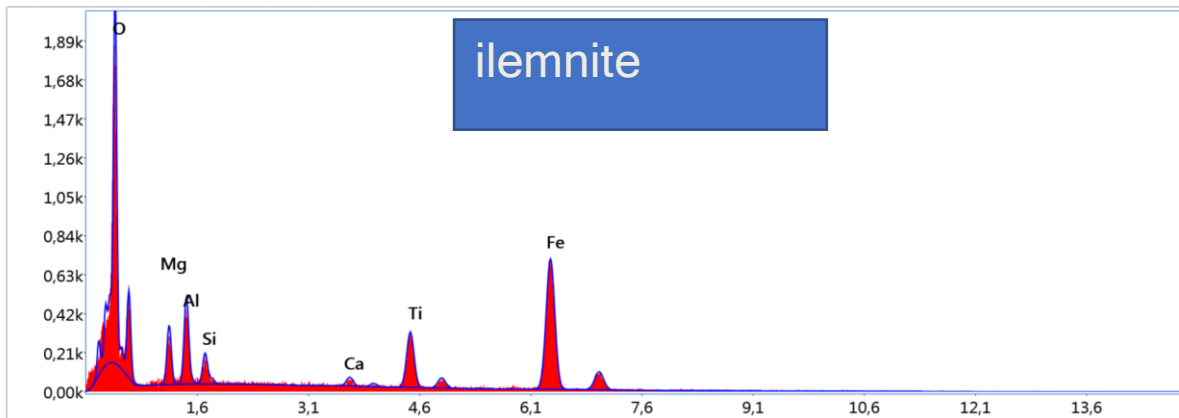
EDS Spot 1



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	35.91	64.75	10.82
SiK	21.08	21.65	4.78
ZrL	43.01	13.60	5.49

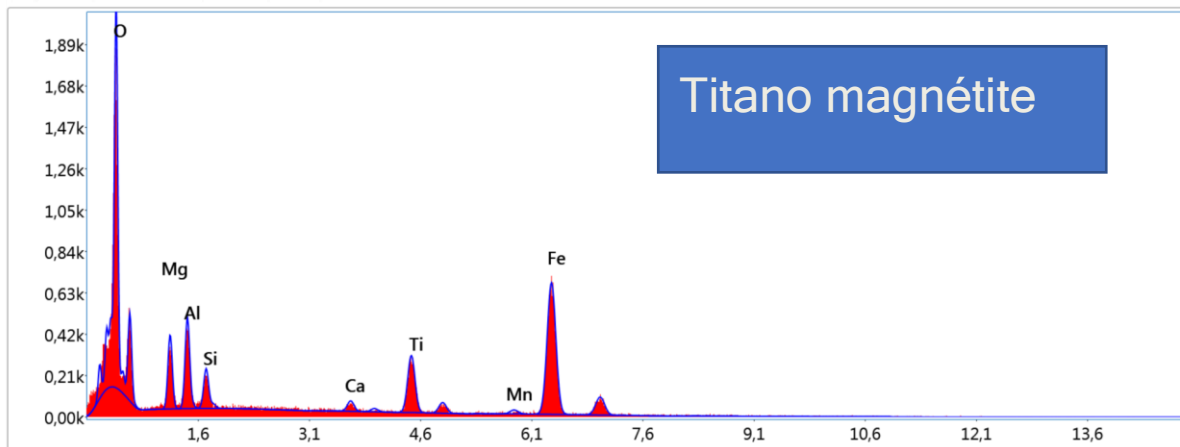
EDS Spot 2



120511 Element1 Spot1

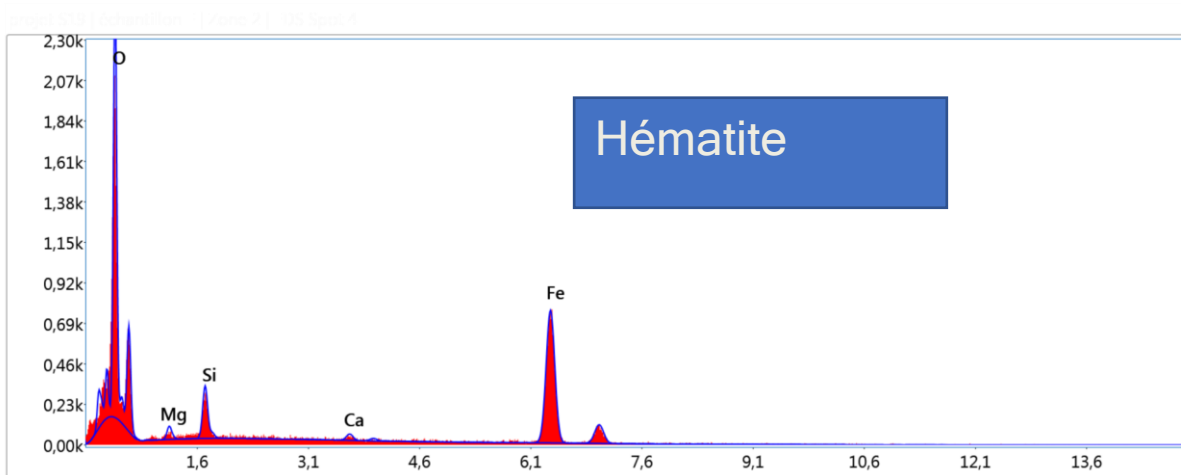
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	25.48	49.86	9.87
MgK	4.19	5.39	10.79
AlK	5.47	6.35	9.14
SiK	1.78	1.98	10.71
CaK	1.08	0.84	23.22
TiK	8.79	5.75	6.04
FeK	53.20	29.82	3.87

EDS Spot 3



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	24.96	48.79	9.91
MgK	4.99	6.42	10.55
AlK	5.42	6.29	9.14
SiK	2.19	2.44	10.65
CaK	1.22	0.95	22.24
TiK	8.68	5.67	6.09
MnK	1.19	0.68	35.19
FeK	51.36	28.77	3.90

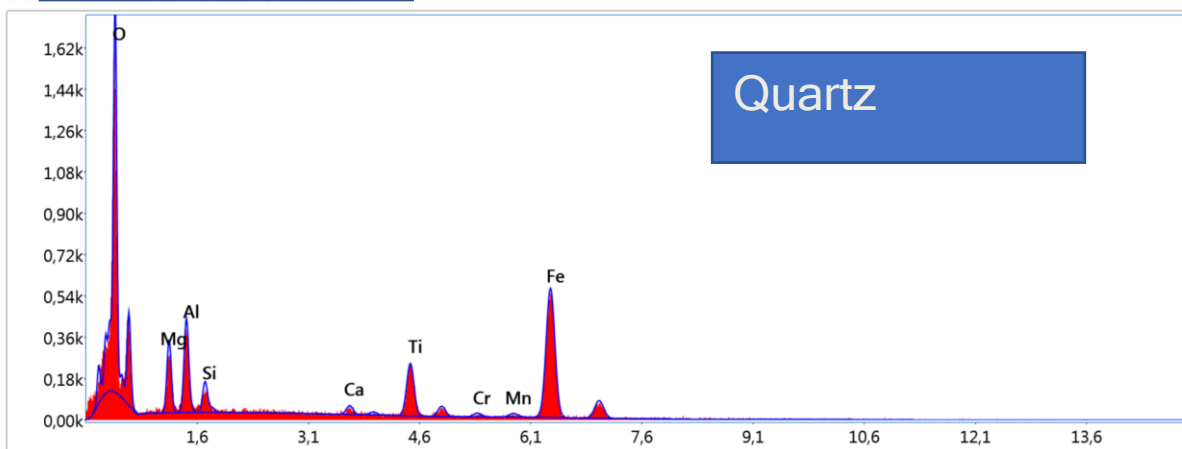
EDS Spot 4



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	26.30	53.63	8.70
MgK	1.22	1.64	16.87
SiK	3.77	4.38	8.68
CaK	0.96	0.78	30.07
FeK	67.74	39.57	3.67

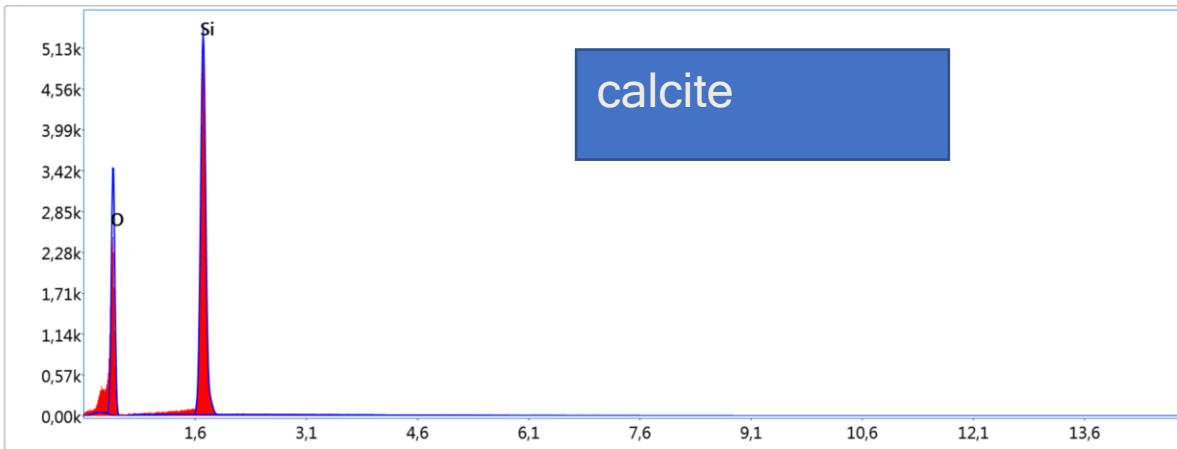
EDS Spot 6



Quartz

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	25.15	49.10	9.92
MgK	4.99	6.41	10.76
AlK	5.76	6.66	9.29
SiK	1.73	1.92	11.61
CaK	1.05	0.82	25.83
TiK	8.13	5.30	6.32
CrK	0.80	0.48	35.71
MnK	0.98	0.56	41.83
FeK	51.42	28.75	3.99

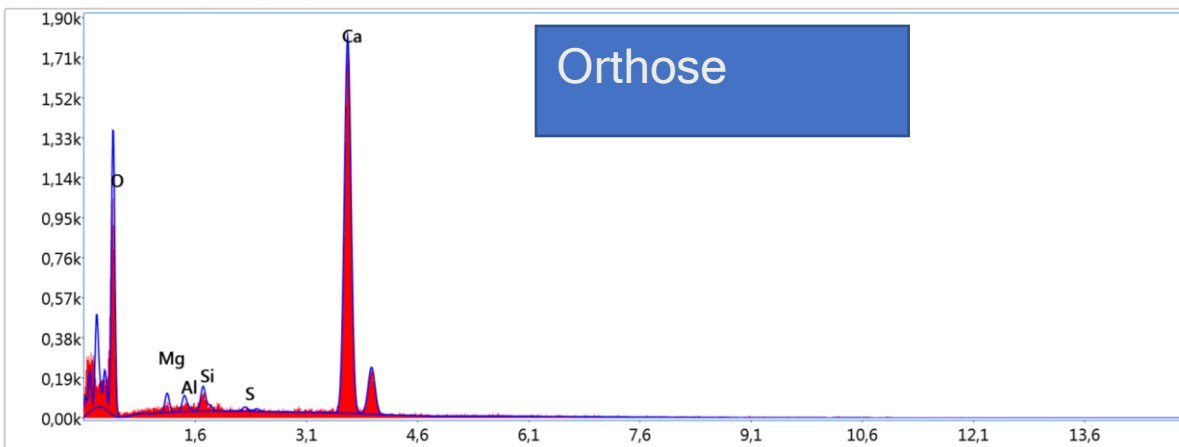
EDS Spot 7



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.91	63.62	9.03
SiK	50.09	36.38	3.78

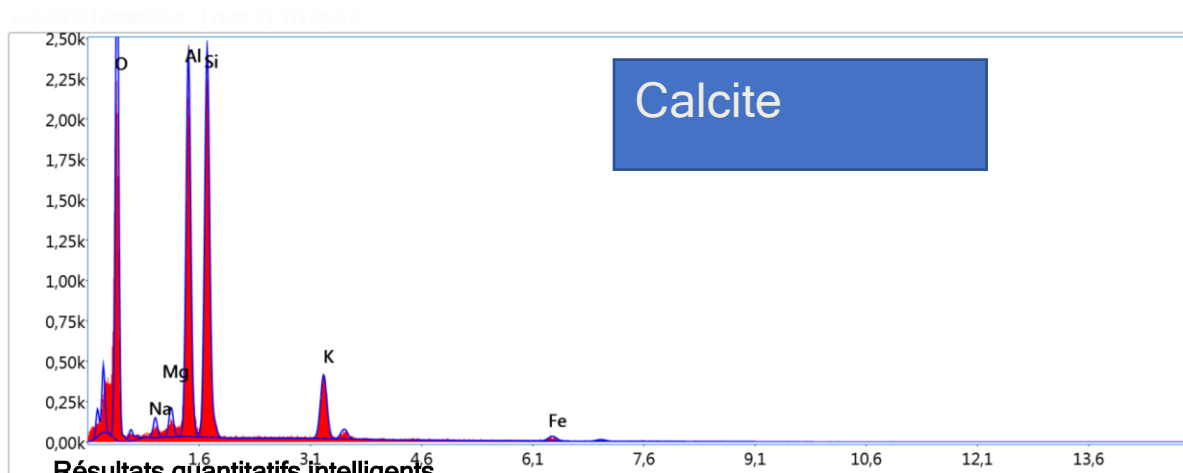
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	47.98	69.15	11.34
MgK	1.04	0.99	14.00
AlK	0.78	0.67	14.87
SiK	1.15	0.94	10.34
S K	0.26	0.18	47.88
CaK	48.80	28.07	2.86

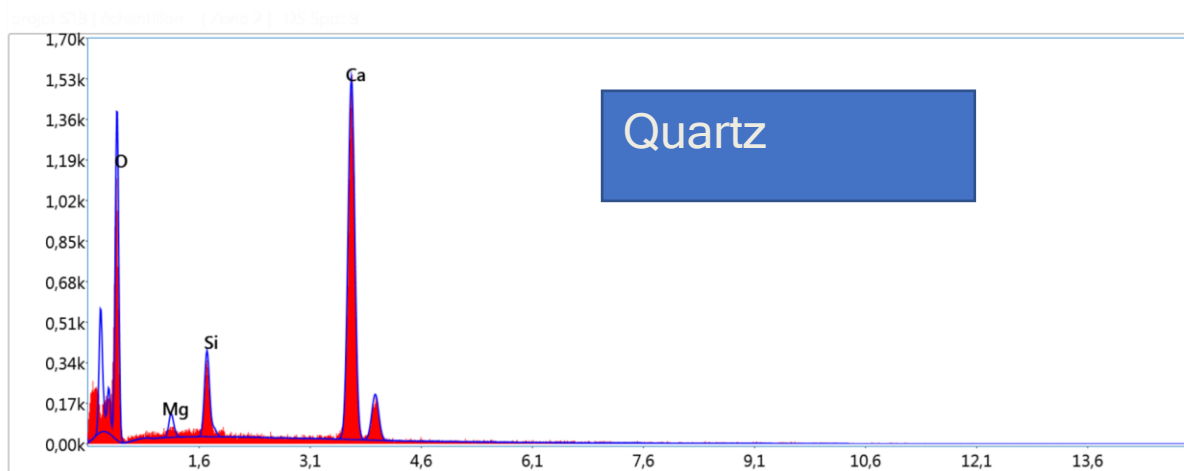
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	44.04	58.91	9.50
NaK	1.52	1.42	13.14
MgK	1.54	1.36	10.58
AlK	19.57	15.53	5.41
SiK	22.94	17.48	5.54
K K	8.12	4.45	5.18
FeK	2.26	0.86	16.04

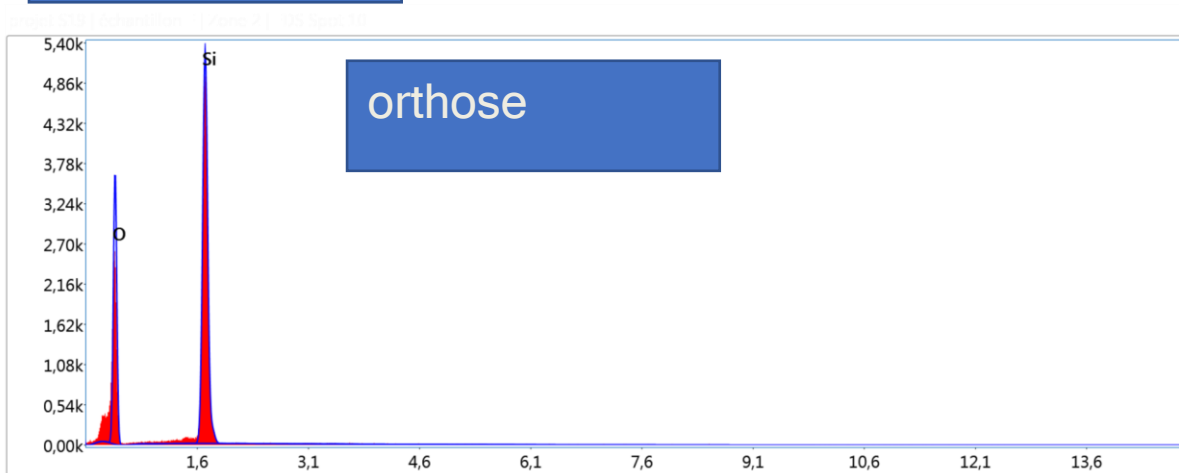
EDS Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

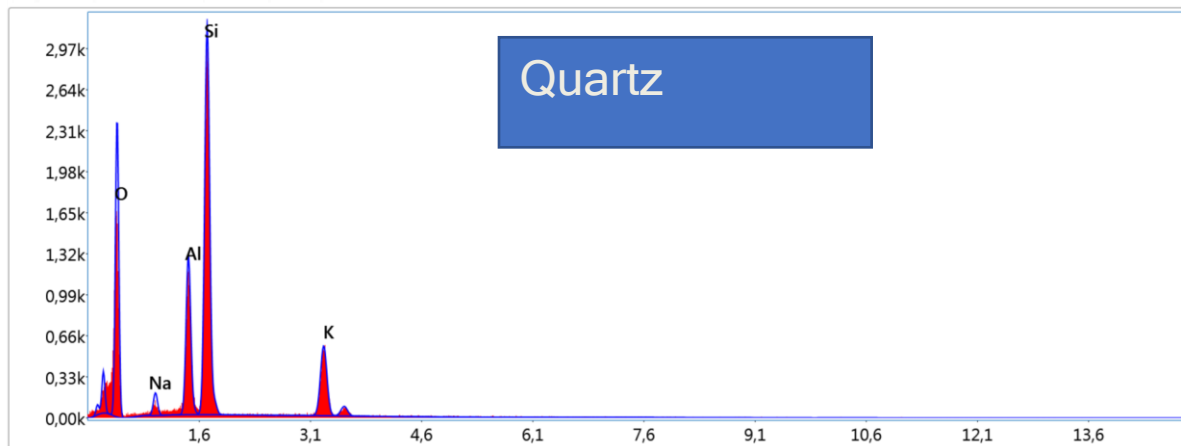
Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.93	70.46	11.27
MgK	1.16	1.08	13.19
SiK	3.78	3.04	6.84
CaK	45.13	25.42	2.98

EDS Spot 11



Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.91	64.55	8.98
SiK	49.09	35.45	3.80

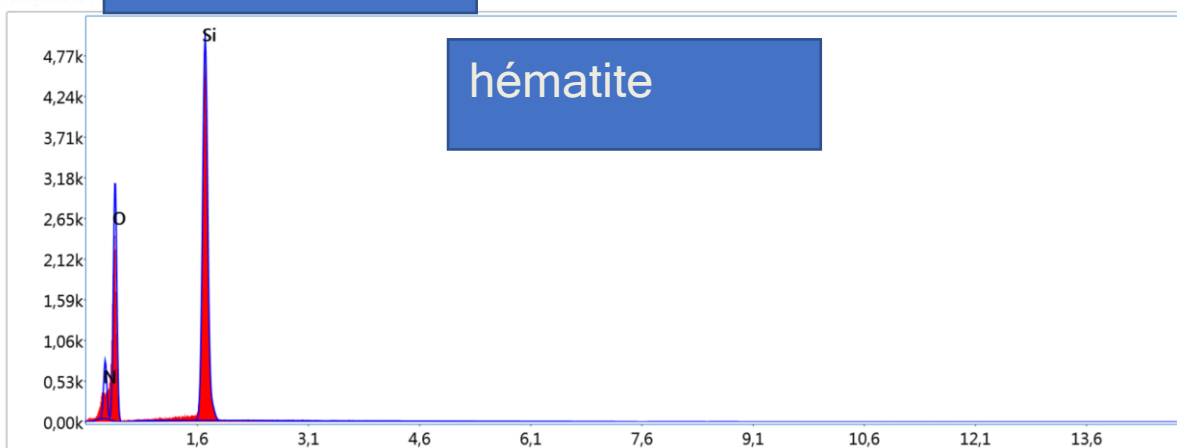
EDS Spot 12



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	43.03	58.16	9.94
NaK	2.32	2.18	11.12
AlK	11.32	9.07	5.64
SiK	30.49	23.48	4.87
K K	12.84	7.10	4.53

EDS Spot 13



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
N K	15.94	21.06	11.53
O K	47.31	54.73	9.86
SiK	36.75	24.22	3.90

EDS Spot 14

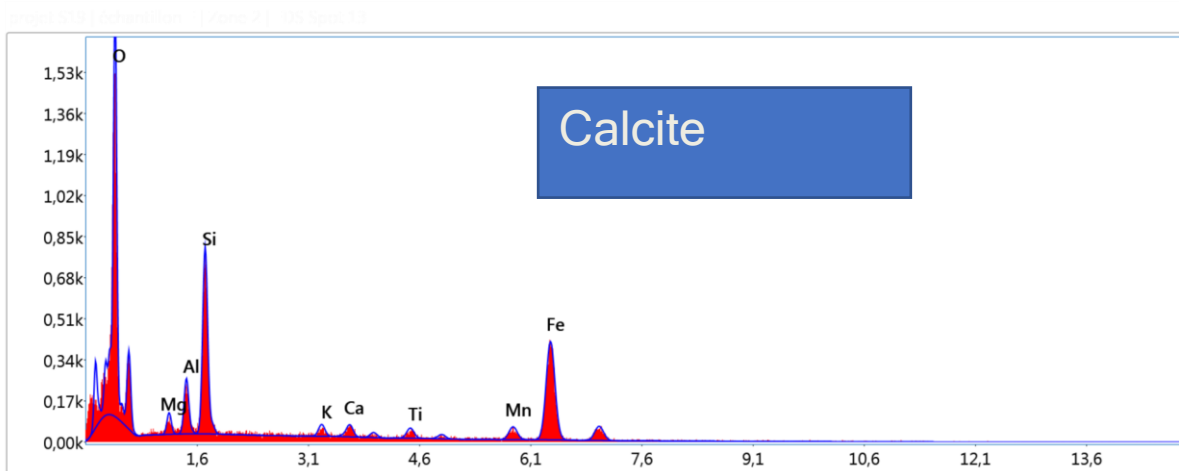
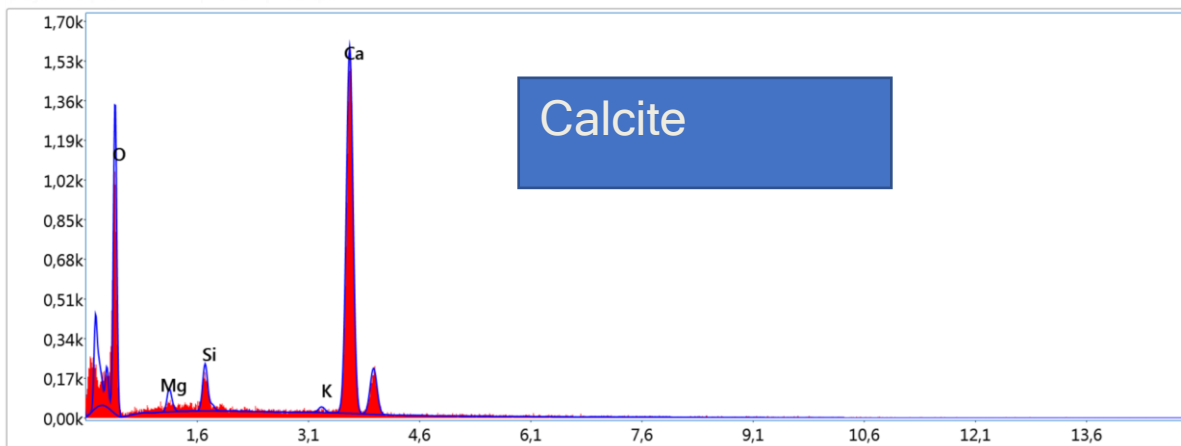


Image EDS (extension) | Zone 2 | SA Spot 14

Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	28.22	52.00	9.60
MgK	1.65	2.01	16.32
AlK	3.70	4.04	10.44
SiK	11.57	12.14	7.08
K K	1.37	1.03	18.47
CaK	1.73	1.27	16.45
TiK	1.81	1.11	17.21
MnK	4.63	2.49	14.98
FeK	45.32	23.92	4.42

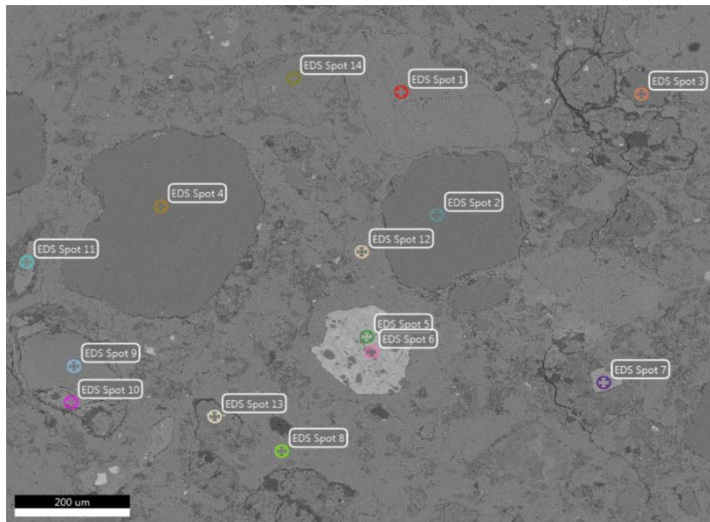
EDS Spot 14



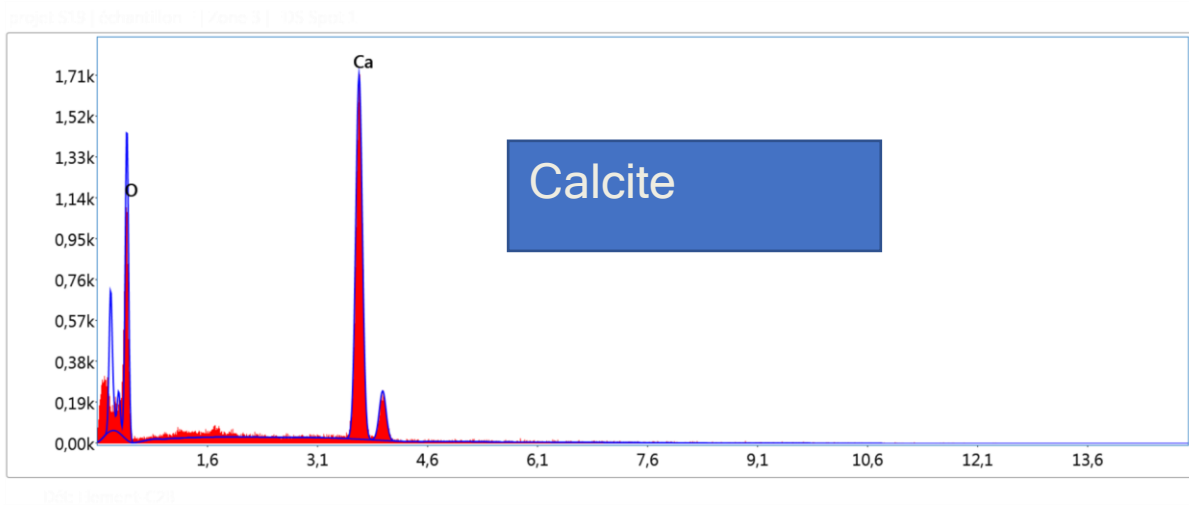
Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.50	70.38	11.31
MgK	1.17	1.10	13.22
SiK	2.12	1.72	8.38
K K	0.48	0.28	33.60
CaK	46.72	26.52	2.96

Zone 3



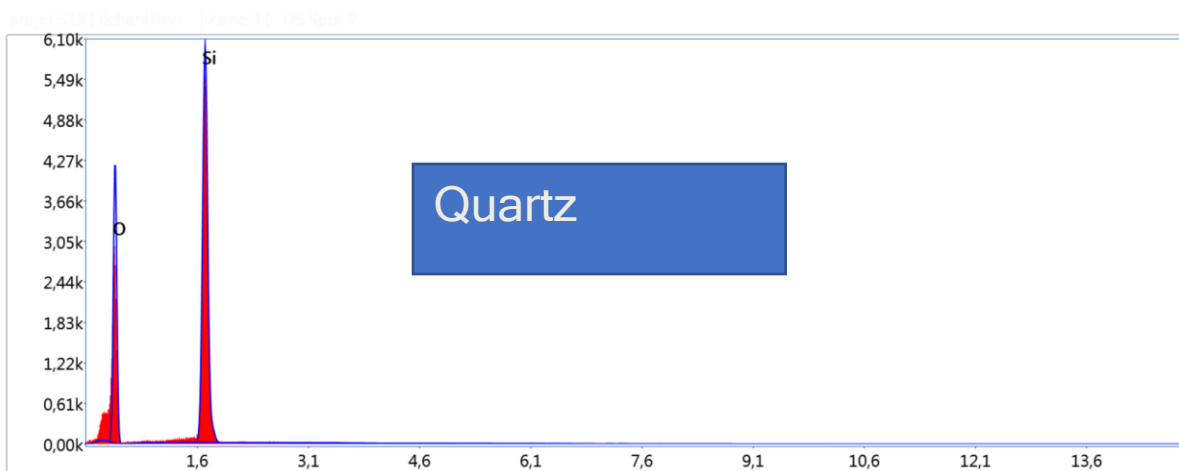
EDS Spot 1



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.69	72.83	11.29
CaK	48.31	27.17	2.86

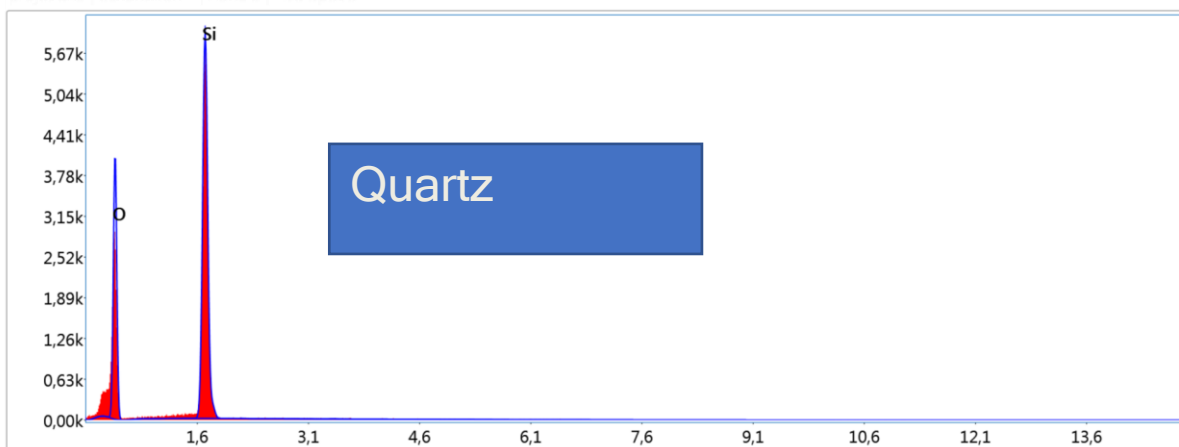
EDS Spot 2



Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	51.33	64.93	8.91
SiK	48.67	35.07	3.78

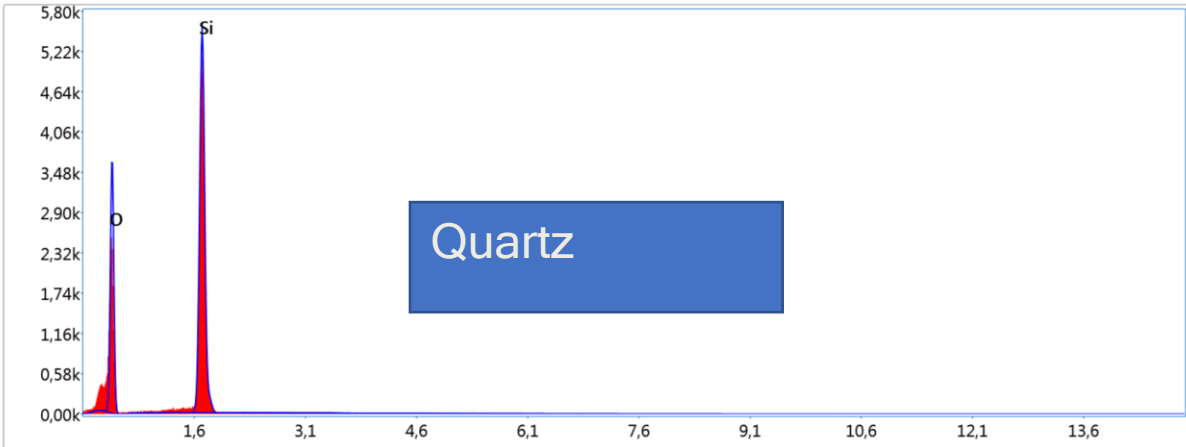
EDS Spot 3



Résultats quantitatifs intelligents

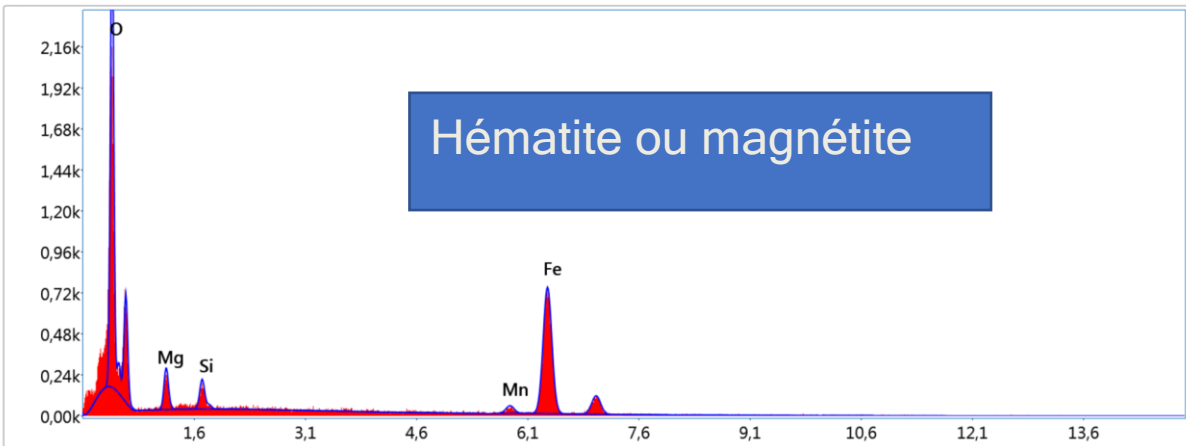
Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.68	64.34	8.95
SiK	49.32	35.66	3.77

EDS Spot 4



Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.10	63.80	9.01
SiK	49.90	36.20	3.77

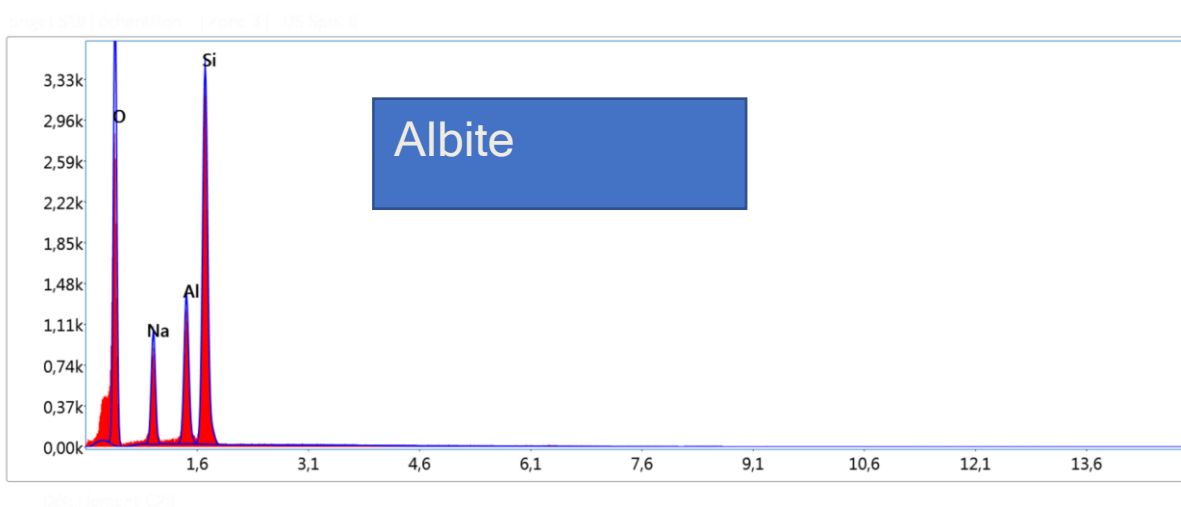
EDS Spot 5



Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	27.16	54.20	8.16
MgK	3.93	5.17	11.95
SiK	2.14	2.43	10.52
MnK	2.93	1.70	20.63
FeK	63.84	36.50	3.73

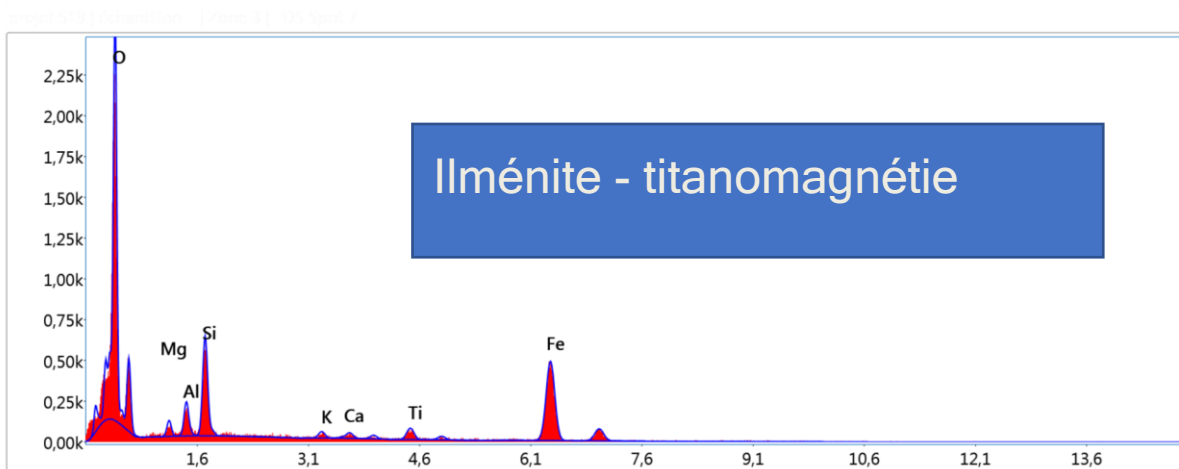
EDS Spot 6



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	45.08	57.73	8.75
NaK	11.55	10.29	8.01
AlK	11.53	8.76	5.88
SiK	31.84	23.22	5.06

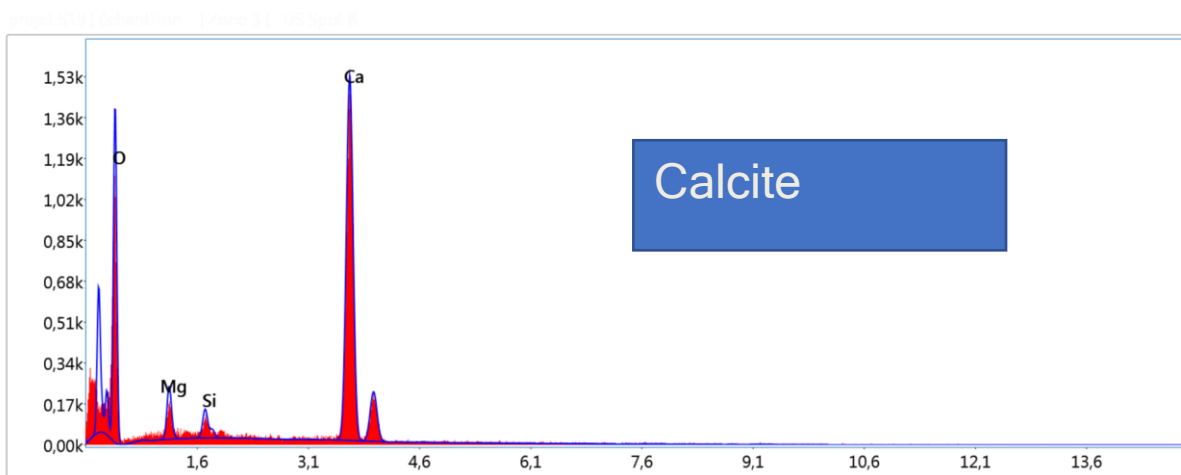
EDS Spot 7



Date: 16/06/2011 02:21

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	34.53	60.10	8.94
MgK	1.62	1.85	16.27
AlK	3.02	3.12	10.86
SiK	8.07	8.00	7.27
K K	0.98	0.70	22.02
CaK	1.02	0.71	21.26
TiK	2.63	1.53	12.15
FeK	48.14	24.00	4.16

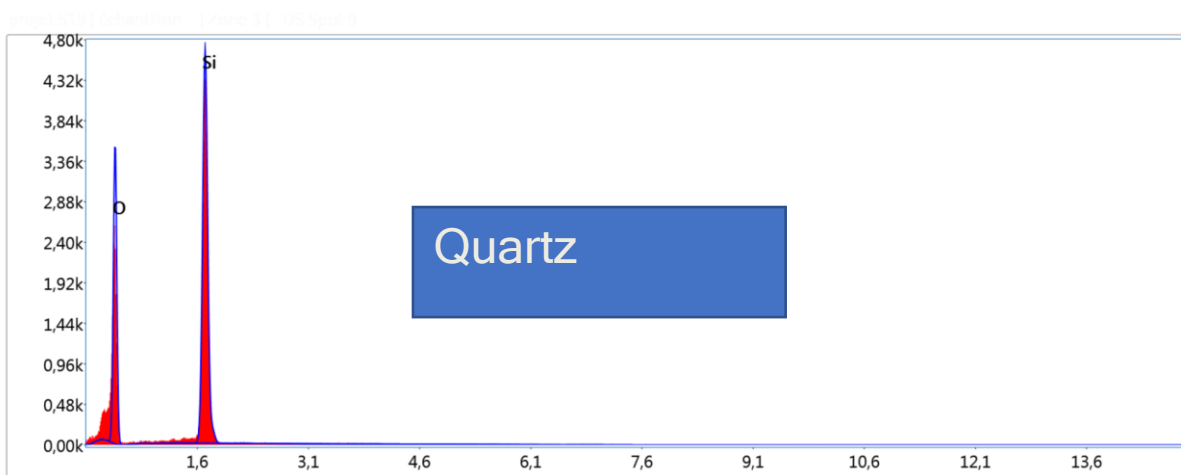
EDS Spot 8



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	50.57	71.01	11.26
MgK	2.69	2.48	10.06
SiK	1.29	1.03	9.70
CaK	45.46	25.48	2.93

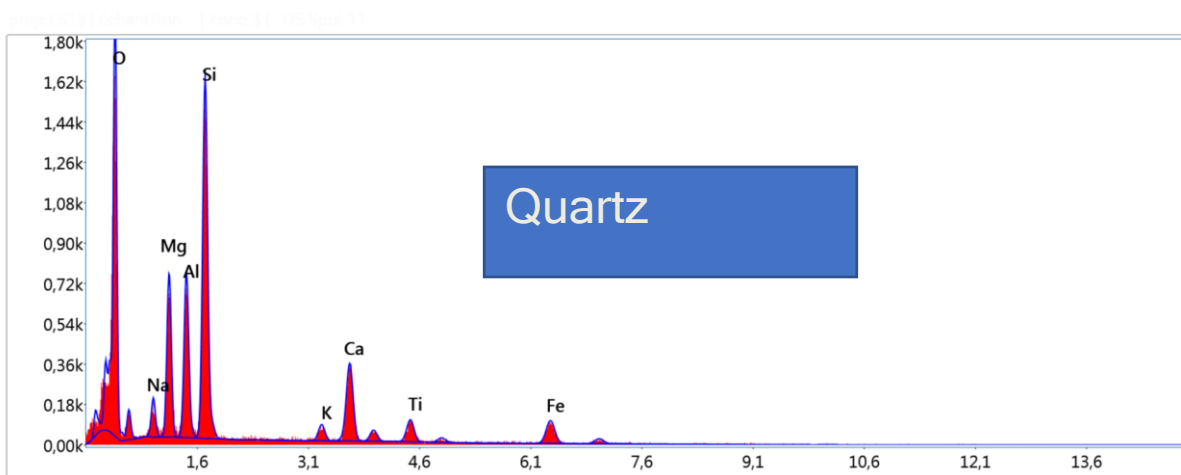
EDS Spot 9



Résultats quantitatifs intelligents

Élément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	52.63	66.11	8.92
O K	53.72	67.08	8.89
Si K	46.28	32.92	3.92

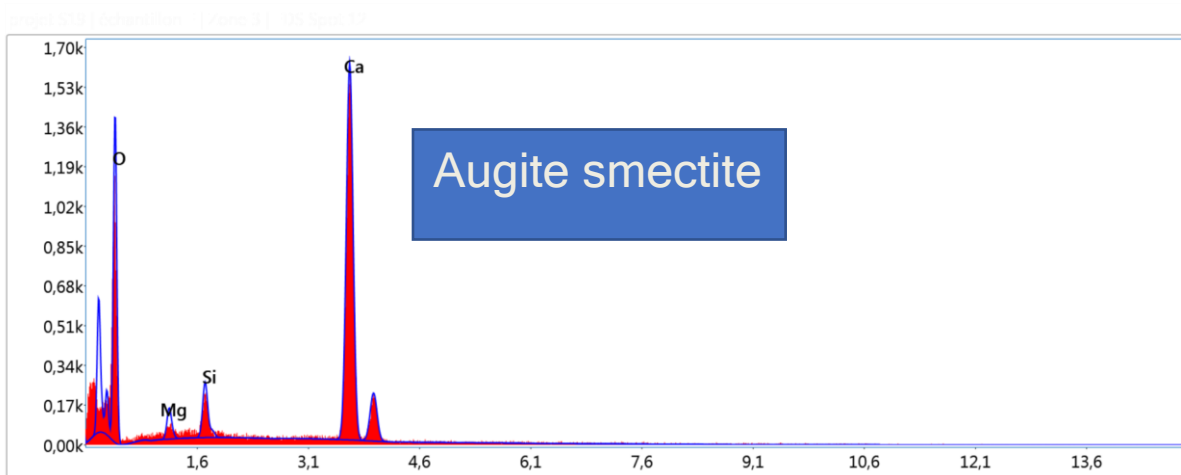
EDS Spot 10



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	37.97	54.97	10.24
NaK	2.84	2.86	12.89
MgK	8.11	7.73	7.92
AlK	8.19	7.03	7.31
SiK	18.05	14.88	5.84
K K	1.65	0.98	14.19
CaK	10.10	5.84	5.12
TiK	3.86	1.87	9.77
FeK	9.22	3.83	7.61

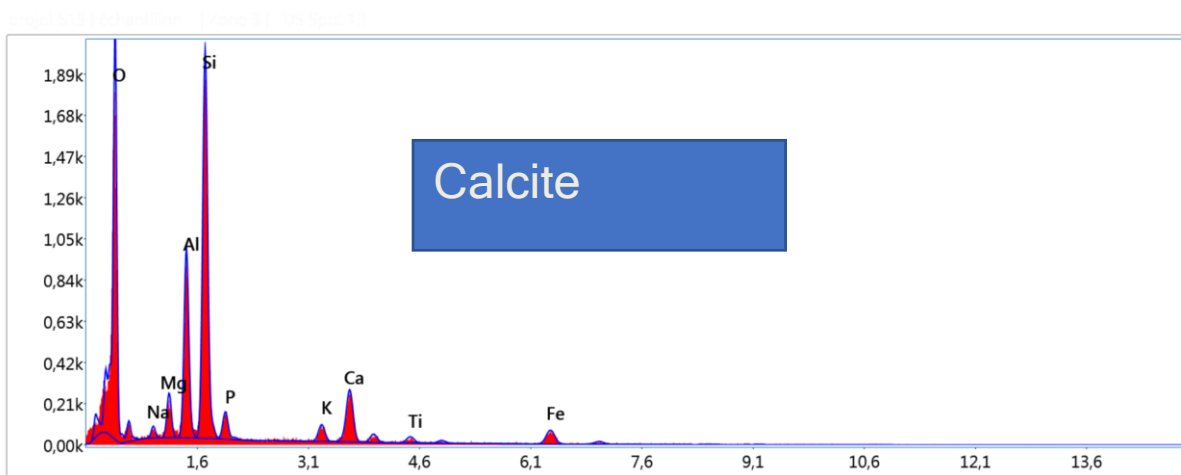
EDS Spot 11



Résultats quantitatifs intelligents

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.68	70.39	11.29
MgK	1.52	1.42	11.67
SiK	2.41	1.95	7.74
CaK	46.38	26.24	2.94

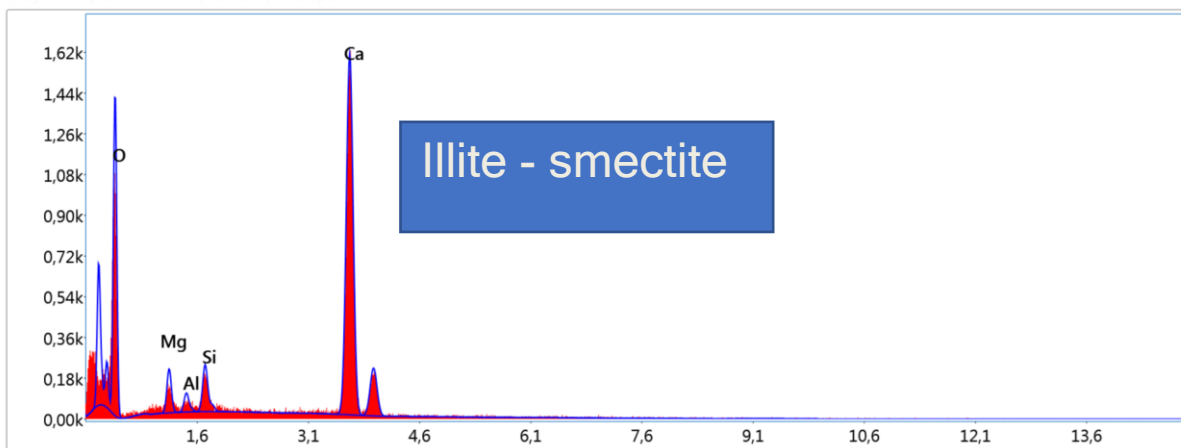
EDS Spot 12



15011 Spot 123

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	41.81	58.57	10.07
NaK	1.03	1.00	18.35
MgK	2.59	2.39	9.98
AlK	10.49	8.71	6.46
SiK	22.88	18.25	5.44
PK	2.40	1.74	13.84
KK	2.16	1.24	15.00
CaK	8.44	4.72	5.80
TiK	1.34	0.63	18.18
FeK	6.86	2.75	8.73

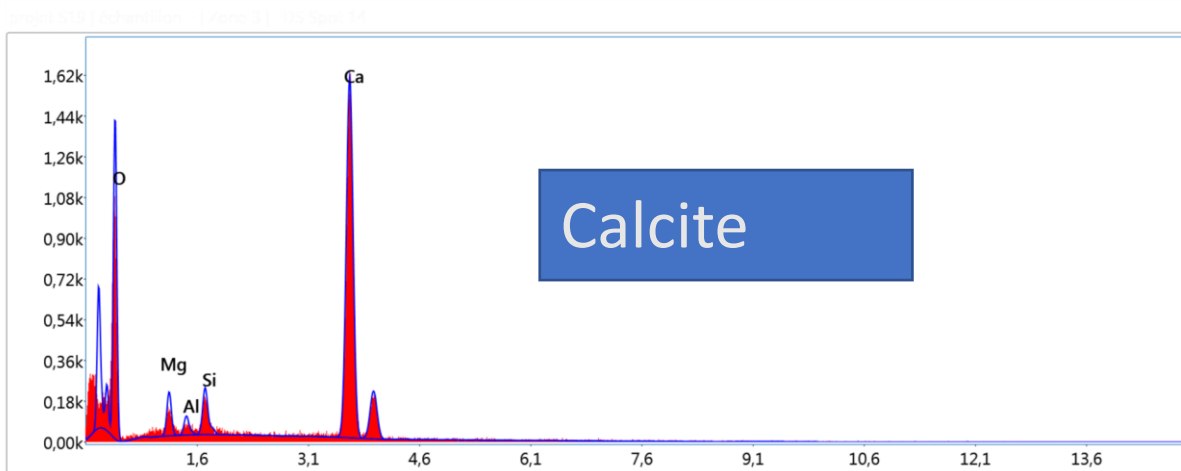
EDS Spot 13



100% Element 1 (20%)

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.17	69.66	11.27
MgK	2.27	2.12	10.73
AlK	0.90	0.76	15.29
SiK	2.12	1.71	8.05
CaK	45.54	25.76	2.92

EDS Spot 13



120k Element: Ca

Elément	% de masse	% atomique	Erreur %
O K	49.17	69.66	11.27
MgK	2.27	2.12	10.73
AlK	0.90	0.76	15.29
SiK	2.12	1.71	8.05
CaK	45.54	25.76	2.92

2-Les annexes du les activités minéralogiques réalisé au carrière Bouhamidi

ACTIVITE MINERALOGIQUE Janvier/2025		
ENG BENI - SAF		
date	V0 (CAO)	Echantillon C
		V3
14/01/2025	16,7	-
16/01/2025	16,7	10,8
19/01/2025	16	10,2
21/01/2025	11,5	8,5
23/01/2025	11,5	8
26/01/2025	10	7,8
28/01/2025	9,5	6
30/01/2025	10,8	10,5
02/02/2025	17,2	15,8
04/02/2025	21,8	22
06/02/2025	23	22
09/02/2025	27,8	20
11/02/2025	28	22,5
13/02/2025	28	21,7
16/02/2025	29	20
19/02/2025	30	22

	307,500
V0=	19,21875
16*V0=	307,5
$\sum_{i=1}^{14} Vi$	205,8
2*V15=	44
	57,7
Q (Cao)=	40,39

ACTIVITE MINERALOGIQUE 06/ 2025

ENG BENI - SAF

		PZ Gris P/Centrale N174
date	<u>V₀</u> (ml)	<u>V_i</u> (ml)
08/06/2025	40	-
10/06/2025	43	26,5
12/06/2025	42	35,6
15/06/2025	42,2	33,5
17/06/2025	41,2	33
19/06/2025	32,5	27,6
22/06/2025	31,8	26
24/06/2025	31,2	26,8
26/06/2025	32	24
29/06/2025	33,2	24,7
01/07/2025	35,2	29
03/07/2025	33	28,2
07/07/2025	31,2	26
09/07/2025	30,6	25,4
13/07/2025	31,5	26,5
15/07/2025	34	28,7

564,600

V₀= 35,2875

$\sum_{i=1}^{14} V_i$ 564,6
392,8

2*V₁₅= 57,4

114,4

Q (Cao)=	80,08
----------	--------------

ACTIVITE MINERALOGIQUE 06/ 2025

ENG BENI - SAF

date	<u>V₀ (ml)</u>	Ech 0/40 produit fini B/saf
		<u>V_i (ml)</u>
08/06/2025	40	-
10/06/2025	43	31
12/06/2025	42	32,2
15/06/2025	42,2	33,4
17/06/2025	41,2	31,8
19/06/2025	32,5	27,7
22/06/2025	31,8	27
24/06/2025	31,2	29
26/06/2025	32	27
29/06/2025	33,2	28,2
01/07/2025	35,2	29
03/07/2025	33	27,2
07/07/2025	31,2	25,5
09/07/2025	30,6	26
13/07/2025	31,5	23,6
15/07/2025	34	24

564,600

V₀= 35,2875

$\sum_{i=1}^{14} V_i$ 564,6
398,6

2*V₁₅= 48

118

Q_(Cao)= 82,6

ACTIVITE MINERALOGIQUE Janvier/2025

ENG BENI - SAF

Bouna Coté Droite

0/200

		<u>Echantillon A</u>
<u>date</u>	<u>V0 (CAO)</u>	<u>V1</u>
14/01/2025	16,7	-
16/01/2025	16,7	9
19/01/2025	16	10,5
21/01/2025	11,5	8
23/01/2025	11,5	7,5
26/01/2025	10	8,5
28/01/2025	9,5	10,5
30/01/2025	10,8	8,5
02/02/2025	17,2	14,5
04/02/2025	21,8	20
06/02/2025	23	21,2
09/02/2025	27,8	21
11/02/2025	28	22,7
13/02/2025	28	21
16/02/2025	29	22,5
19/02/2025	30	22

307,500

V0= 19,2188

16*V0= 307,5

$\sum_{i=1}^{14} Vi$ 205,4

2*V15= 44

58,1

Q (Cao)= 40,67

ACTIVITE MINERALOGIQUE Janvier/2025

ENG BENI - SAF

Bouna Coté Droite

date	V0 (CAO)	Echan-
		tillon B
		V2
14/01/2025	16,7	-
16/01/2025	16,7	7,5
19/01/2025	16	8
21/01/2025	11,5	6,8
23/01/2025	11,5	8
26/01/2025	10	7,3
28/01/2025	9,5	6,8
30/01/2025	10,8	9,1
02/02/2025	17,2	17,8
04/02/2025	21,8	20
06/02/2025	23	22
09/02/2025	27,8	26
11/02/2025	28	25,5
13/02/2025	28	20,5
16/02/2025	29	22
19/02/2025	30	24,2

	307,500
V0=	19,21875
16*V0=	307,5
$\sum_{i=1}^{14} Vi$	207,3
2*V15=	48,4
	51,8
Q (Cao)=	36,26

ACTIVITE MINERALOGIQUE SEPTEMBRE/2025

ENG BENI - SAF

Entrée Bouna D Pouzzolane 0/200

		<u>EchantillonN° 1</u>
<u>date</u>	<u>V0 (CAO)</u>	<u>V1</u>
18/09/2025	38,2	-
18/09/2025	37,5	23,7
23/09/2025	39,7	28
25/09/2025	35	27,5
28/09/2025	34,2	29
30/09/2025	37	30,5
02/10/2025	38,5	35,2
05/10/2025	41	30,2
07/10/2025	38	36,8
09/10/2025	38,3	35,6
12/10/2025	37	28
14/10/2025	37	37
16/10/2025	31	31
19/10/2025	29	28,5
21/10/2025	30,5	30
23/10/2025	31,4	24,5

$$V0 = \frac{458,300}{28,64375}$$

$$\sum_{i=1}^{14} Vi = \frac{458,3}{300}$$

$$2 * V15 = 49$$

$$109,3$$

$Q_{(Cao)} =$	76,51
---------------	--------------

ACTIVITE MINERALOGIQUE SEPT/2025

ENG BENI - SAF

Entrée Bouna G Pouzzolane 0/200

date	<u>V0</u> (CAO)	EchantillonN°2
		<u>V2</u>
18/09/2025	38,2	-
18/09/2025	37,5	17
23/09/2025	39,7	18,5
25/09/2025	35	20,7
28/09/2025	34,2	20,8
30/09/2025	37	21,4
02/10/2025	38,5	23,5
05/10/2025	41	26
07/10/2025	38	25,8
09/10/2025	38,3	25,1
12/10/2025	37	24
14/10/2025	37	23,7
16/10/2025	31	20
19/10/2025	29	20,4
21/10/2025	30,5	21,2
23/10/2025	31,4	20

427,800

V0= 26,7375

16*V0= 427,8

$\sum_{i=1}^{14} Vi$ 308,1

2*V15= 40

79,7

Q (Cao)= 55,79