



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



THESE

Présentée à

L'Université de Lorraine et l'Université de Yaoundé I

Pour obtenir le grade de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

ET DE L'UNIVERSITE DE YAOUNDE I

Géosciences

Par

BOULINGUI Jean-Eudes

Soutenue publiquement le 18 décembre: 2015

**Inventaire des Ressources en Argiles du Gabon et leurs Utilisations
Conventionnelles ou non dans les régions de Libreville et de Tchibanga**

JURY

Thèse dirigée par Jacques YVON et Charles NKOUMBOU

M. FILIPOV Lev

Président

M. NGUETNKAM Jean Pierre

Rapporteur

Mme. LECOMTE-NANA Gisèle Laure

Rapporteur

M. YVON Jacques

Co- directeur de thèse Invité

M. NKOUMBOU Charles

Directeur de Thèse

Professeur, Université de Lorraine

Professeur, Université de Ngaoundéré

Maître de conférences, Université de Limoges, ENSCI

Professeur, Université de Lorraine

Professeur, Université de Yaoundé I

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A ma maman MAROUNDU MOULOUNGUI. Hortense, qui représente tout pour moi.

A feu mon papa BOULINGUI Jean Joseph, paix à son âme.

A feu mon oncle POUNGA Jean Baptiste, paix à son âme.

A feu mon papi YABA MOULOUNGUI Yacinth, paix à son âme.

A ma défunte mamie MALEMOU de là ou tu te trouves, saches que tu es vivante.

A tous mes frères et sœurs.

A tous mes neveux et nièces.

A mon oncle YABA MOULOUNGUI Alphonse, devenu inapte. marque une grande absence ce jour mémorable.

A mon épouse BIVIGOU MOUDOUHI Nina épouse BOULINGUI, pour son amour et son affection au côté de son cher mari.

A mes enfants :

- BOULINGUI BOULINGUI Eudhny Prymh Axel ;
- BOULINGUI BOULINGUI Dynah Dianys Prahxel ;
- BOULINGUI BOULINGUI Eudhy Dianel Ruxel ;
- BOULINGUI BOULINGUI Viany Diandys Nixel ;

pour leurs tendresses inlassables voulant toujours voir leur père aller _vers le haut_ afin de s'en inspirer, votre père vous adore et vous exhorte de faire mieux que votre papa qui malgré des complications survenues durant cette thèse il a su évidemment honorer vos souhaits. Recevez toute ma joie.

REMERCIEMENTS

La thèse que voici est le fruit d'un travail effectué dans le cadre de la cotutelle de thèse au Laboratoire d'Environnement et Minéralurgie (LEM) devenu Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux (LIEC) de l'Université de Lorraine et de l'Université de Yaoundé1. Il me plaît de profiter de cette occasion pour remercier un certain nombre de personnes sans lesquelles ce document n'aurait certainement pas abouti au résultat que voilà. Je tiens à remercier sincèrement le Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux qui m'a offert le cadre d'étude et m'a mis dans les conditions optimales de travail. L'Université de Yaoundé 1, l'Ecole Normale Supérieure de Libreville, le Ministère des Mines du Pétrole et des Hydrocarbures du Gabon pour leur soutien sur le plan institutionnel. Aussi, l'Agence Universitaire de la Francophonie pour son soutien financier sur vingt mois durant la mobilité.

Pour l'heure, Jacques YVON reste pour moi un homme qui ne trouve pas des remerciements dans ce paragraphe car il n'existe pas un terme qui puisse le qualifier, il est tout pour cette thèse.

Fabien THOMAS Directeur du Laboratoire Interdisciplinaire des Environnements Continentaux, Jacques YVON, Charles NKOUNBOU et El-Aïd JDID vos conseils, les critiques que vous avez bien voulu formulés pour parfaire ce travail, vos rigueurs professionnelles et scientifiques et vos soutiens multiformes, je vous remercie de tout cœur.

A travers Monsieur le Directeur du LIEC, j'associe également tout le personnel dudit Laboratoire pour leur affection et leur appui sans lesquels mon travail aurait été laborieux : je veux citer Odile BARRES, Delphine MARTIN, Isabelle BIHANNIC, Nicole MAGNABOSCO, Manuel PELLETIER, Renaud GLEY, Yves WALDVOGEL ainsi que tous les autres membres dudit Laboratoire.

Je tiens aussi à dire un grand merci à Christine FIVET pour ces multiples rappels à l'ordre aux doctorants qui sont sous sa tutelle.

François EBA, Clémentine DO REGO, BAYONNE ADDO Livith, OMANDA Hugues vous avez su me dire tu peux y arriver, recevez ici mes remerciements.

Au personnel de l'Ecole Doctorale RP2E et de l'Ecole de Géologie, je vous dis aussi merci de tout cœur.

Mes remerciements vont également à l'endroit du personnel de l'Université de Yaoundé1 au Cameroun.

Le personnel du département de Sciences de la Vie et de la Terre, l'ensemble des locataires de l'UER Sciences et Technologie à l'Ecole Normale Supérieure de Libreville, je vous suis très reconnaissant car vous m'avez toujours libéré pour poursuivre ma mobilité en vue d'obtenir ma thèse. votre thèse car locataire comme vous, nous partageons les mêmes _je dois aller de l'avant_, un grand merci pour tout.

Les agents de la Direction de la Géologie et de la Recherche Minière du Ministère des Mines du Gabon ne sont pas oubliés dans ce processus qui a permis au personnel de ce Ministère de découvrir qu'au Gabon, il y a des jeunes qui s'intéressent à la valorisation des matériaux locaux, lors de ma présentation en 2010 pendant les journées portes ouvertes du géologue sur les biens faits de l'argile et leurs utilisations sur le plan industriel au Gabon, trouvez ici ma profonde gratitude.

Soyez tous rassurés de ma reconnaissance et de ma profonde gratitude vous qui n'avez pas été cité, les personnes qui de près ou de loin ont toujours trouvé de l'intérêt pour ce travail.

Que le tout puissant _DIEU_ nous accompagne.

Résumé

Les matériaux et minéraux argileux, abondent au Gabon. Les travaux pionniers révèlent la présence d'argiles rouges dans la série barrémienne de l'Agoula et d'argiles rouges à violettes dans la série néocomienne de Ndombo. Les argiles constituent une ressource précieuse et abondante qui a été largement valorisée tant en constructions traditionnelles de terre crue qu'en terre cuite en divers endroits du pays. Les présentes recherches sont initiées pour inventorier les ressources en différentes argiles facilement accessibles au Gabon, et dédiées à sélectionner des gisements à potentiel applicatif, selon la nature des argiles. Ce travail a été réalisé dans les régions de Libreville et de Tchibanga. Les échantillons prélevés font l'objet d'analyses macroscopique, microscopique, chimique, structurale et superficielle. Des essais de formulation font l'objet d'applications dans les domaines des briques, tuiles et celui des réfractaires. La croissance démographique de la République Gabonaise engendre une demande importante en divers matériaux locaux qui satisfassent les besoins de la vie courante. L'accent est mis sur les applications relatives aux terres cuites : briques, tuiles et carreaux. Des zones d'intérêt à potentiel économique sont identifiées. Les argiles de la région de Libreville, riches en kaolinites et illite sont intéressantes pour des applications en terre cuite. La caractérisation des propriétés minéralogiques des roches argileuses, est réalisée dans le but d'identifier les usages industriels les plus intéressants. Les caractérisations et les tests d'applications, identifient des matières premières pour la construction, la céramique, mais aussi dans bien d'autres domaines comme la pharmacologie (galénique), la papeterie, la cosmétique, l'agro-alimentaire, le caoutchouc, la peinture, le génie civil, le génie de l'environnement. Comme dans tous les pays d'Afrique Centrale, le développement durable passe inéluctablement par une maîtrise des ressources locales. La caractérisation fine des argiles du crétacé de Libreville est réalisée par : diffraction des rayons X, spectrométrie infrarouge à transformée de Fourier, microscopie électronique à balayage, détermination de la capacité d'échange cationique, granulométrie, analyses chimiques, indice de plasticité, test de céramique. Selon la diffraction des rayons X, ces argiles sont à kaolinite, et/ou illite et montmorillonite, quartz, $\pm$ muscovite, $\pm$ microcline, $\pm$ hématite, $\pm$ rutile, $\pm$ anatase. L'observation en Microscopie Electronique à Balayage et le traitement à l'Ethylène Glycol ou chauffé à 550°C analysé en DRX confirme la présence prépondérante de ces minéraux.

Summary

Materials and clayey minerals abound in the Gabon. The pioneers works reveal the presence of red clays in the barrémian series of Agoula and red clays with violets in the neocomian series of Ndombo. Clays constitute a precious and plentiful resource which was widely beneficiated as well in traditional constructions of green clays as in terra-cotta in diverse places of the country. The present researches aim at inventorying the resources in various clays easily accessible in Gabon, and in the study of selection of deposits with application potential, according to the nature of clays. This work is carried on in the regions of Libreville and Tchibanga. The collected samples are the object of macroscopic, microscopic (tiny), chemical, structural and superficial analyses. Trials of formulation are the object of applications in the domains of bricks, tiles and refractories. The population growth of the Gabonese Republic generates a demand in diverse local materials satisfying the needs for the current life. The emphasis is put on the applications concerning terra-cottas: bricks, roof tiles and floor tiles. Zones of interest with economic potential are identified. Clays of the region of Libreville, rich in kaolinites and illite are interesting for applications in terra-cotta. The characterization of the mineralogical properties of the clayey rocks is realized with the aim of identifying the most interesting industrial uses. Characterizations and tests of applications, identify raw materials for the construction, the ceramic, but also in many other domains as pharmacology (galenic), paper industry, cosmetics, food-processing industry, rubber, paint, civil engineering and environment engineering. As in all the countries of Central Africa, the sustainable development passes inevitably by a control of the local resources. The fine characterization of clays of the Cretaceous of Libreville is realized by: X-ray Diffraction, Fourier transform infrared spectroscopy, scanning electronic microscopy, determination of the cation exchange capacity, particle size analysis, chemical analyses, plasticity index, ceramic tests. According to the X-ray diffraction, these clays are mixtures of kaolinite, and/or illite and montmorillonite, quartz, $\pm$ muscovite, $\pm$ microcline, $\pm$ hematite, $\pm$ rutile $\pm$ anatase. The observation in Scanning Electron Microscopy and the treatment with Ethylène Glycol or heating at 550°C in XRD confirms the dominating presence of these minerals.

Plan général

Table des matières	01
introduction Générale	17
Chapitre I : Revue de la littérature sur les argiles et leurs utilisations	22
Chapitre II : Contexte géographique et géologique de l'étude	32
Chapitre III : Matériels et méthodes	48
Chapitre IV : Inventaire des gisements d'argiles au Gabon et leurs utilisations	63
Chapitre V : Etude des argiles de Libreville et ses environs	82
Chapitre VI : Etude du Talc de Tchibanga	148
Conclusion Générale et Perspectives	190
Bibliographie	191
Annexes	200

Table des matières

Introduction Générale.....	17
A. Problématique Générale.....	17
B. Objectifs de la Thèse.....	18
Chapitre I : Revue de la littérature sur les argiles et leurs utilisations	
I.1. Définition.....	22
I.2.1. La Kaolinite et les argiles 1 :1.....	22
I.2.2. Les Illite 2 :1.....	22
I.2.3. Les Montmorillonites (Smectites) 2 :1.....	23
I.2.4. Chlorite 2 :1 :1.....	23
I.2.5. Les Vermiculite 2 :1.....	23
I.2.6. Le Talc 2 :1.....	24
I.3. Les argiles dans l'industrie céramique.....	24
I.3.1. Les céramiques traditionnelles.....	24
I.3.2. Transformations des minéraux argileux à la cuisson.....	26
I.4. Les paramètres qui influencent les propriétés des matériaux après cuisson.....	27
I.4.1. Illites.....	28
I.4.2. Montmorillonites.....	28
I.4.3. Muscovites.....	28
I.4.4. Chlorites.....	28
I.4.5. Autres minéraux.....	28
I.4.5.1. Mullite.....	28
I.4.5.2. Carbonates.....	29
I.4.5.3. Phosphates.....	29
I.4.5.4. Sable.....	29
I.4.5.5. Feldspaths.....	29
I.4.5.6. Oxydes (fondants).....	30
I.4.5.7. Sulfates.....	30
Conclusion.....	30

Chapitre II : Contexte géographique et géologique de l'étude

Introduction.....	32
II.1. Les formations géologiques dans les régions de Libreville et de Tchibanga aux temps phanérozoïques.....	34
II.1.1. Le groupe d'Agoula.....	35
II.1.2. Le groupe de M'Vone.....	35
II.1.3. Le groupe de N'Dombo.....	35
II.1.4. Le groupe de Cocobeach.....	35
II.1.5. Le groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué.....	36
II.1.6. Le groupe de Madiéla.....	36
II.1.7. Le groupe de Cap Lopez.....	36
II.1.8. Le groupe de Sibang.....	36
II.1.9. Le groupe d'Anguille.....	37
II.1.10. Le Groupe d'Ikando.....	37
II.1.11. Le Groupe d'Ozouri, Animba et N'Gola.....	37
II.1.12. Le Groupe d'Alewana.....	37
II.1.13. Le Groupe des Cirques.....	37
II.1.14. Le Groupe des Alluvions Ogoouée.....	37
II.2. Les formations géologiques du bassin côtier dans la région de Libreville aux temps phanérozoïques.....	39
II.3. Les formations géologiques du synclinal de la Nyanga dans la Région de Tchibanga aux temps phanérozoïques.....	41
II.4. Les sols des régions du Gabon.....	45
Conclusion.....	47

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction.....	48
III.2. Matériels et Méthodes d'Analyse au Laboratoire.....	48
III.2.1. Diffractions des Rayons X (DRX).....	48
III.2.1.1. Principe de la diffraction des rayons X.....	48
III.2.1.2. Conditions expérimentales.....	49
III.2.2. Spectrométrie Infrarouge à Transformée de Fourier (DRIFTS et transmission).....	50

III.2.2.1. Principe de la spectrométrie infrarouge.....	50
III.2.2.1. Conditions expérimentales.....	51
III.2.3. Microscopie électronique à balayage (MEB).....	51
III.2.3.1. Principe général.....	51
III.2.4. Capacité d'Echange Cationique (CEC).....	53
III.2.5. Granulométrie par diffusion Laser.....	53
III.2.5.1. Principe.....	53
III.2.5.2. Conditions expérimentales.....	54
III.2.6. Analyse Chimique.....	54
III.2.7. Analyses Thermiques (ATD-ATG).....	54
III.2.7.1. Analyse thermique différentielle (ATD).....	55
III.2.7.2. Analyse Thermogravimétrique.....	55
III.2.8. Surface spécifique.....	55
III.2.8.1. Principe.....	55
III.2.8.2. Détermination de la surface spécifique.....	56
III.2.8.3. Techniques expérimentales.....	56
III.2.9. Cuisson.....	56
III.3. Méthodes Contextuelles de Valorisation des matériaux minéraux des Argiles de Libreville et du Talc de Tchibanga.....	57
III.3.1. Méthodes de prélèvement d'échantillon sur le terrain.....	57
III.3.2. Procédés et Matériel utilisé dans la caractérisation des argiles de Libreville et le talc de la Nyanga au Laboratoire.....	58
Conclusion.....	61

Chapitre IV : Inventaire des gisements d'argiles au Gabon et leurs utilisations

Introduction.....	63
IV.1. Unités de transformations des argiles au Gabon et types des matériaux utilisés dans Libreville et ses environs.....	64
IV.1.1. Unité de fabrication de briques crues stabilisées dans le 6 ^{ème} arrondissement de Libreville à Nzeng-Ayong.....	64
IV.1.2. Unité de fabrication Société Ralph et Kevin construction.....	67
IV.2. Briques Crues au Gabon.....	68
IV.3. Utilisation traditionnelle d'argiles à briques au Gabon.....	71

IV.4. Objets d'arts et manufactures à base d'argiles au Gabon de l'Ecole Nationale d'Art et de Manufacture (E.N.A.M).....	71
IV.5. Briques cuites au Gabon.....	74
IV.6. Produits à base d'argiles importés au Gabon.....	75
IV.7. Argile et le Génie Civil au Gabon.....	76
IV.8. Utilisations de l'argile en Géophagie au Gabon.....	79
Conclusion.....	80

Chapitre V : Etude des argiles de Libreville et ses environs

Introduction.....	82	
V.1. Description macroscopique et localisation des sites.....	82	
V.1.1. Description macroscopique.....	82	
V.1.1.1. Série PK14.....	83	
V.1.1.2. Série PK24.....	85	
V.1.1.3. Série MKA1.....	87	
V.1.2. Localisation des sites de prélèvement des argiles de Libreville.....	88	
V.2. Caractérisation fine des argiles crues : Résultats et Discussions.....	88	
V.2.1. Distribution des tailles de particules.....	89	
V.2.2. Provenance des argiles de Libreville et ses environs dans les séries PK14, PK24, MKA1, MCO et MGC.....	91	
V.2.3. Argiles du PK14 sur la Route Nationale N°1 (Série PK14).....	93	
V.2.3.1. Granulométrie des matériaux minéraux argileux de la série PK14	V.2.3.2. Analyses chimiques des sols argileux de la série PK14.....	94
V.2.3.2. Analyses chimiques des sols argileux de la série PK14.....	95	
V.2.3.3. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la série PK14.....	95	
V.2.3.4. Diffraction des Rayons X sur lame orientée de la série PK14.....	96	
V.2.3.5. Spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier de la série PK14.....	98	
V.2.3.6. Analyse au MEB et EDX de la série PK14 sur roche totale.....	100	
V.2.3.7. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de la série PK14.....	101	
V.2.4. Argiles d'Essassa (Série PK24).....	103	
V.2.4.1. Granulométrie des matériaux des sols argileux de la série PK24.....	103	
V.2.4.2. Analyse chimiques des sols argileux de la série PK24.....	104	
V.2.4.3. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la série PK24.....	104	

V.2.4.4. Diffraction des Rayons X de la série PK24 sur lames orientées, traitées à l'Ethylène Glycol ou chauffées à 550°C.....	105
V.2.4.5. Spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier de la série PK24.....	107
V.2.4.6. Analyse au MEB et EDX de la série PK24 sur roche totale du District d'Essassa .	108
V.2.4.7. Teneurs massiques des minéraux dans les différents matériaux de la série PK24 .	109
V.2.5. Argile de Massika (Série MKA1).....	111
V.2.5.1. Granulométrie des matériaux des sols argileux de la série MKA1.....	111
V.2.5.2. Analyse chimiques des sols argileux de la série MKA1.....	112
V.2.5.3. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la série MKA1.....	113
V.2.5.4. Diffraction des Rayons X de la série MKA1 (Massika) sur lames orientées, à l'Ethylène Glycol et chauffée à 550°C	114
V.2.5.5. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier de la série MKA1.....	116
V.2.5.6. Analyse par MEB et EDX de la série MKA1 sur roche totale du District de Massika	117
V.2.5.7. Teneurs massiques des minéraux dans les différents matériaux de la série MKA1	119
V.2.6. Prévision des retraits au séchage dans le sens de la longueur et de la largeur des matériaux minéraux argileux de Libreville et de ses environs	122
V.3. Lithostratigraphie des formations du bassin côtier Gabonais et Localisation des argiles de Libreville dans les groupes correspondants.....	123
V.4. Propriétés des argiles et effet de la température sur les argiles de Libreville exemptes de phases gonflantes : Résultats et Discussions.....	128
V.4.1. Analyses Thermiques des Argiles des séries PK14, PK24.....	129
V.4.1.1. Analyse Thermique de la série PK14.....	129
V.4.1.1.1 : Variation de masse et de température (ATG, ATD) du matériau 1PK14.....	130
V.4.1.1.2 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 2PK14.....	130
V.4.1.2. Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau PK24.....	131
V.5. Caractérisation fine des produits cuits à 1100°C : Résultats et Discussions.....	132
V.5.1. Diffraction des Rayons X (DRX).....	133
V.5.1.1. Diffraction de rayons X de la série PK14 cuite à 1100°C.....	133
V.5.1.2. Diffraction de rayons X de la série PK24 cuite à 1100°C.....	134
V.5.2. Microscopie Electronique à Balayage (MEB).....	135

V.5.2.1. Vue d'ensemble sur face polie au MEB et EDX de la série PK14 Cuite à 1100°C	135
V.5.2.2. Vue d'ensemble au MEB et EDX sur fragment rompu de la série PK14 Cuite à 1100°C	138
V.5.2.3. Vue d'ensemble au MEB et EDX sur fragment rompu de la série PK24 Cuite à 1100°C	141
V.5.2.4. Vue d'ensemble au MEB et EDX sur fragment rompu de la série PK24 Cuite à 1100°C	143
Conclusion.....	146

Chapitre VI : Etude du Talc de Tchibanga

Introduction.....	148
VI.1. Description macroscopique et localisation de sites.....	148
VI.1.1. Description macroscopique.....	148
VI.1.2. Localisation des sites de prélèvement du talc de Tchibanga.....	154
VI.2. Caractérisation fine du Talc cru : Résultats et Discussions.....	155
VI.2.1. Analyse chimiques des éléments majeurs et mineurs des talcschistes de Tchibanga et ses environs.....	157
VI.2.2. Analyse chimiques des éléments en traces des talcschistes de Tchibanga et ses environs	157
VI.2.3. Talc de Minganga (BTT1).....	159
VI.2.3.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Minganga (BTT1).....	160
VI.2.3.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de Minganga (BTT1)	160
VI.2.3.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de Minganga (BTT1)	160
VI.2.3.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réflexion Diffuse sur roche totale de Minganga (BTT1)	161
VI.2.3.3. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minganga	162
VI.2.4. Talc de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4).....	163
VI.2.4.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4).....	163
VI.2.4.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)	164

VI.2.4.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)	164
VI.2.4.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4).....	165
VI.2.4.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT : 2 ; 3 et 4) de la fraction grossière et fraction fine de la Carrière quartier Ibanga sur roche totale.....	166
VI.2.4.4. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux (BTT : 2 ; 3 et 4) de la Carrière quartier Ibanga.....	168
VI.2.5. Talc de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6 ; BTT7).....	170
VI.2.5.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7).....	170
VI.2.5.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7).....	171
VI.2.5.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)	171
VI.2.5.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)	171
VI.2.5.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT6, BTT7) de la fraction grossière et fraction fine de l'Ecole I quartier Minzanzala sur roche totale.....	172
VI.2.5.4. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minzanzal.....	174
VI.2.6. Talc de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9).....	175
VI.2.6.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT 8 et BTT 9)	175
VI.2.6.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)	176
VI.2.6.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)	176
VI.2.6.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)	177
VI.2.6.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT8 et BTT9) de la fraction grossière et fraction fine de Dougandou et Louango sur roche totale.....	178
VI.2.6.4. Teneurs massiques des minéraux dans les différents matériaux de la série PK14.....	180
VI.2.7. Talc de Mourindi (BTT11 ; BTT12).....	181
VI.2.7.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12).....	181

VI.2.7.1.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Mourindi (BTT11).....	181
VI.2.7.1.2. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Mourindi (BTT12).....	182
VI.2.7.2. Spectrométrie infrarouge à Transmission de Fourier sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)	183
VI.2.7.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)	183
VI.2.7.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)	184
VI.2.7.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT11 et BTT12) de la fraction grossière et fine de Mourindi sur roche totale.....	185
VI.2.7.4. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Mourindi	187
Conclusion.....	188
Conclusion Générale et Perspectives.....	190
Bibliographie.....	/191
Annexes.....	200

Liste des Tableaux

Tableau I.3.1: Grandes classes de produits céramiques (Balavoine, 2002).....	25
Tableau I.3.2 : Transformations des principales argiles par traitement thermique (Balavoine, 2002).....	27
Tableau IV.6 : Quelques produits importés à base d'argile au Gabon (2010 -2011).....	76
Tableau V.2.1.1 : Analyse granulométrique montrant la répartition de diamètre (D) en μm par rapport aux pourcentages (%) 10 ; 16 ; 50 ; 84 ; 90 et 99 des matériaux minéraux argileux des Libreville et de ses environs.....	90
Tableau V.2.1.2 : Valeurs positives asymétriques (sk_i) et dispersion des tailles (ϕ_i) des sédiments argileux des matériaux minéraux de Libreville et de ses environs.....	91
Tableau V.2.2.1 : Analyse chimique des matériaux argileux de Libreville et de ses environs.....	92
Tableau V.2.2.2 : Valeurs des Indices d'Altérabilités Chimiques (CIA) en % des échantillons des matériaux minéraux argileux de Libreville et de ses environs.....	93
Tableau V.2.3.2 : Analyse chimique des matériaux argileux de la série PK14.....	95
Tableau V.2.3.7 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux argileux de la série PK14	102
Tableau V.2.4.2 : Analyse chimique des matériaux argileux de la série PK24.....	104
Tableau V.2.4.7 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux argileux de la série PK24	110
Tableau V.2.5.2 : Analyse chimique des matériaux argileux de la série MKA1.....	113
Tableau V.2.5.7 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux argileux de la série MKA1	120
Tableau VI.2.1 : Analyse chimiques des éléments majeurs des talcschistes de Tchibanga et de ses environs	157
Tableau VI.2.2 : Analyse chimiques des éléments en traces des talcschistes de Tchibanga et ses environs	159
Tableau VI.2.3.3 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minganga.....	162
Tableau VI.2.4.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de la Carrière.....	168
Tableau VI.2.5.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minzanza.....	174
Tableau VI.2.6.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Dougandou / Louango	180

Tableau VI.2.7.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Mourindi.....	187
---	-----

Liste des Figures

Figure 1.1 : Minéraux argileux (Deconinck, 2006).....	21
Figure II : Les grands ensembles lithostratigraphiques du Gabon (Thiéblemont <i>et al.</i> , 2009).....	34
Figure II.1 : Les groupes géologiques du bassin côtier Gabonais (Thiéblemont <i>et al.</i> , 2009).....	38
Figure II.2 : Extrait de la carte géologique du Gabon des formations géologiques du bassin côtier dans la région de Libreville et ses environs aux temps phanérozoïques présentant la zone de prélèvement des argiles en rectangle rouge.....	41
Figure II.3 : Extrait de la carte géologique du Gabon des formations géologiques du synclinal de la Nyanga dans la région de Tchibanga.....	44
Figure II.4.1 : Esquisse géologique des sols des régions du Gabon (Muller, 1972).....	45
Figure II.4.2 : Représentation schématique d'exemples correspondant aux types morphologiques des sols recensés (Muller, 1972).....	47
Figure III.2.3 : Microscope Electronique à Balayage moderne dans les locaux de l'UHP Vandœuvre-lès-Nancy 2012.....	52
Figure III.3.1 : Technique de prélèvement d'échantillon d'argiles à l'aide de la tarière manuelle.....	57
Figure IV.1.1.1 : Fraction de terre utilisée pour la fabrication des briques dans un entrepôt au quartier Nzenz Ayong-Fin goudron (2012).....	65
Figure IV.1.1.2 : Appareillage utilisé pour la fabrication des briques crues de l'unité de fabrication des briques de Nzenz- Ayong composée de Broyeur automatique (A), Doseur (B) et Malaxeur semi-automatique (C).....	66
Figure IV.1.1.3 : Machine automatique en chaîne composée d'un doseur, d'un malaxeur et d'une pondeuse à 3 moules de briques (A) et moule manuel (B) de l'unité de fabrication de briques crues de Nzenz-Ayong	66
Figure IV.1.2.1 : Matériaux argilo-latéritiques en stock dans la cour de l'unité de fabrication de briques et tuiles de Société Ralph et Kevin construction d'Agondjé.....	67
Figure IV.1.2.2 : Equipement de machine semi-automatique et production de tuiles (A) et briques (B) de l'unité de fabrication de la Société Ralph et Kevin construction d'Agondjé...67	
Figure IV.2.1 : Briques crues (A et B), tuiles et pavés (C et D) des unités de production d'Agondjé.....	68

Figure IV.2.2 : Maisons témoins de l'unité de transformation de Nzeng-Ayong. Villa n°15 (A), Villa n°24 (B) et Villa n°17 vue de face (C) et vue arrière (D).....	69
Figure IV.2.3 : Maisons témoins de l'unité de transformation de Nzeng-Ayong. Villa n°8 vue de face (A) et vue latérale (B), Villa n°1 dans la clôture (C), Villa n°2 (D).....	70
Figure IV.3.1 : Murs d'une maison en terre battue (quartier pk6) à Libreville face arrière (A), face latérale (B) et de face principale (C).....	71
Figure IV.3.2 : Mur en briques crues non pressées traditionnelles au Gabon.....	72
Figure IV.4.1: Pot décoratif (A), Masque Mitsogo (B), pièce imaginaire (C) et du Masque Villy (D)	73
Figure IV.4.2 : Objet d'habitat rural du Gabon réalisé par l'élève Moussavou Mbadinga ENAM-Libreville	73
Figure IV.4.3 : Une théière (A), vase tournassé (B), pot décoratif (C) et assortiment de pièces constituées d'assiettes et autres tam-tam, vases, mortiers (D).....	74
Figure IV.4.4 : Un fruit de la zone tropicale (A), un soldat et un voyageur (B), une espèce silure d'eau douce (C), un écosystème composé d'une mangrove, d'un crocodile et des perroquets (D)	74
Figure IV.5 : Architecture et beauté de la brique cuite au Gabon : cas de l'Eglise d'Angone au Nord du Gabon de l'Epoque Coloniale.....	75
Figure IV.7.1 : Pont du cimetière de Lalala (A), affaissement de la dalle de bitume au village Meyang (B) et la rupture des canalisations au quartier Bangoss (C).....	77
Figure IV.7.2 : Eboulement au sommet d'un talus de la base d'une maison route PK6-Nzeng-Ayong Libreville (A), éboulement route Nationale au village Gniali dans la Nyanga (B) et début d'érosion, pente voie expresse PK6 sens Plein ciel-PK6 Libreville (C).....	78
Figure IV.8 : L'argile glanée (calaba) au marché Montbouet Libreville.....	80
Figure V.1.1.1.1 : Vue d'ensemble des argiles rouges de la série PK14 sur la N°1	84
Figure V.1.1.1.2 : Stratification en forme de rides des argiles de la série PK14 de couleur variée rouge-grise à blanchâtre.....	85
Figure V.1.1.2 : Argiles indurées grises de la série PK24 d'Essassa.....	86
Figure V.1.1.3 : Passage bordeaux de l'argile blanche de la série MKA1 de Massika.....	87
Figure V.1.2 : Carte de situation des argiles de Libreville et de ses environs.....	88
Figure V.2.3.1 : Analyse Granulométrique des matériaux argileux de la série PK14.....	95
Figure V.2.3.3 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK14 sur la route nationale N°1 au PK14.....	96
Figure V.2.3.4 : Diffractogrammes-X de matériaux argileux de la série PK14 (Route Nationale N°1 au PK14) sur lames orientées : Normale, à l'Ethylène Glycol et chauffées à 550°C.....	98

Figure V.2.3.5 : Spectres infrarouge à Transmission de Fourier de matériaux argileux de la série PK14 (Route Nationale N°1 au PK14) sur roche totale.....	100
Figure V.2.3.6 : Vue au MEB et EDS de la rutile et de l'illite des matériaux argileux de la série PK14 sur roche totale.....	101
Figure V.2.4.1 : Analyse Granulométrique des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa.....	104
Figure V.2.4.3 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa	105
Figure V.2.4.4 : Diffractogrammes-X des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa sur lames orientées : Normale, à l'Ethylène Glycol et chauffée à 550°C.....	107
Figure V.2.4.5 : Spectres infrarouge à Transformée de Fourier de matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa sur roche totale.....	108
Figure V.2.4.6 : Vue au MEB et EDS des matériaux minéraux argileux de la série PK24 sur roche totale du district d'Essassa.....	109
Figure V.2.5.1 : Analyse Granulométrique des matériaux argileux de la série MKA1 du district de Massikal	112
Figure V.2.5.3 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série MKA1 du district de Massikal.....	114
Figure V.2.5.4 : Diffractogrammes-X de matériaux argileux de la série MKA1 du district de Massikal sur lames orientées : Normale, à l'Ethylène Glycol et chauffée à 550°C.....	116
Figure V.2.5.5 : Spectres infrarouge à Transformée de Fourier de matériaux argileux de la série PK24 du district de Massikal sur roche totale.....	117
Figure V.2.5.6.1 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux de la série MKA1 sur roche totale du district de Massikal montrant une montmorillonite.....	118
Figure V.2.5.6.2 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux de la série MKA1 sur roche totale du district de Massikal montrant la montmorillonite, l'illite, la kaolinite et l'hématite.....	119
Figure V.3 : Carte lithostratigraphique des formations du bassin côtier Gabonais et localisation des argiles de Libreville dans les groupes correspondants.....	128
Figure V.4.1.1.1 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 1PK14.....	130
Figure V.4.1.1.2 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 2PK14.....	131
Figure V.4.1.2 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 4PK24.....	132

Figure V.5.1.1 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK14 sur la route nationale N°1 au PK14 de la région de Libreville cuits à 1100°C.....	134
Figure V.5.1.2 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa de la région de Libreville cuits à 1100°C.....	135
Figure V.5.2.1.1 : Vue d'ensemble sur face polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C sur roche totale.....	136
Figure V.5.2.1.2 : Vue au MEB et EDS sur face polie des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C.....	137
Figure V.5.2.1.3 : Vue au MEB et EDS sur face polie des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C montrant des oxydes de fer disséminés sur l'ensemble de la surface de la plage prospectée.....	138
Figure V.5.2.2.1 : Vue d'ensemble sur face non polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C sur roche totale	139
Figure V.5.2.2.2 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C à plage larvaire.....	139
Figure V.5.2.2.3 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C à plage larvaire où sont noyé les oxydes de fer à la surface.....	140
Figure V.5.2.2.4 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C à plage larvaire montrant une structure de rutile allongée incluse entre les grains de quartz (le voir dans sa partie haute entourée en carré bleu)	141
Figure V.5.2.3.1 : Vue d'ensemble sur face polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C sur roche totale.....	142
Figure V.5.2.3.2 : Vue au MEB et EDS sur face polie des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C à rutile inséré entre les grains de quartz.....	143
Figure V.5.2.4.1 : Vue d'ensemble sur face non polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C sur roche totale.....	144
Figure V.5.2.4.2 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C à plage larvaire montrant une structure d'oxyde de fer à caractère vacuolaire	145
Figure V.5.2.4.3 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK24 du district d'Essassa cuit à 1100°C à plage larvaire montrant une structure de rutile ronde baignée dans de l'alumine	146

Figure V.6 : Classification des phases des séries des matériaux argileux de Libreville et ses environs formées au cours de l'altération des roches-mères (acides et ou basiques) dans un diagramme triangulaire en fonction du climat et de la topographie des lieux (Diagramme ROM-Cli-Top) avec ROM : roches-mères ; Cli : climat ; Top : topographie.....	147
Figure VI.1.1.1 : Niveau de talc redressé d'épaisseur 30 Cm (A) et poudre de sable fin à argile blanche (B) de Tchibanga à la Carrière.....	149
Figure VI.1.1.2 : Afleurement du talc brun de l'Ecole I quartier Minzanzala à Tchibanga.....	150
Figure VI.1.1.3 : Structure du schisto-calcaire de la Nyanga : route place de l'indépendance de Tchibanga - pont de la Nyanga.....	151
Figure VI.1.1.4 : Afleurement du talc brun de Dougandou – Louangao à Tchibanga.....	152
Figure VI.1.1.5 : Talc primaire et système de minéraux broyés de Mourindi dans la Nyanga.....	153
Figure VI.1.1.6 : Le niveau de talcschiste de structure redressée de 30 cm d'épaisseur (A) et la structure dolomitique poudreuse (B) de Mourindi dans la Nyanga.....	154
Figure VI.1.2 : Carte de Situation du Talc de Tchibanga et des districts de Dougandou, Louango et Mourindi	155
Figure VI.2.3.1: Diffractogramme-X sur roche totale de Minganga (BTT1).....	160
Figure VI.2.3.2.1 : Spectre infrarouge en Transmission sur roche totale de Minganga (BTT1).....	161
Figure VI.2.3.2.2 : Spectre infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Minganga (BTT1).....	162
Figure VI.2.4.1: Diffractogrammes-X sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 ; 4)	164
Figure VI.2.4.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4).....	165
Figure VI.2.4.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4).....	166
Figure VI.2.4.3 : Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT : 2 ; 3 et 4) de la fraction grossière (A ; B ; C) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de la Carrière quartier Ibanga sur roche totale.....	167
Figure VI.2.5.1: Diffractogrammes-X sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)	170
Figure VI.2.5.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7).....	171
Figure VI.2.5.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7).....	172

Figure VI.2.5.3 : Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT 6 et BTT7) de la fraction grossière (A ; B ; C) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de l'Ecole I quartier Minzanzala sur roche totale.....	173
Figure VI.2.6.1: Diffractogrammes-X sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT 8 et BTT9)	176
Figure VI.2.6.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9).....	177
Figure VI.2.6.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)	178
Figure VI.2.6.3: Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT : 2 ; 3 ; 4 et 5) sur fraction grossière (A ; B ; C ; D) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de Dougandou et Louango sur roche totale.....	179
Figure VI.2.7.1.1: Diffractogramme-X sur roche totale de Mourindi (BTT11).....	182
Figure VI.2.7.1.2 : Diffractogramme-X sur roche totale de de Mourindi (BTT12).....	183
Figure VI.2.7.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)	184
Figure VI.2.7.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)	185
Figure VI.2.7.3: Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT : 2 ; 3 ; 4 et 5) de la fraction grossière (A ; B ; C ; D) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de Mourindi de Mourindi sur roche totale	186

Introduction Générale

A. Problématique Générale

En République gabonaise, comme dans tous les pays d'Afrique Centrale, le développement durable passe inéluctablement par une maîtrise des ressources minérales. En ce qui concerne les minéraux industriels, leur caractérisation et des essais d'applications, au moins à l'échelle pilote, sont nécessaires. D'après la direction de la statistique du Gabon au compte d'année 2015, la République gabonaise connaît une croissance démographique importante (plus de 2,5%) et une propension à l'urbanisation. Libreville, capitale politique et économique, abrite près de 780 000 habitants pour une population nationale de 1 746 955 habitants, soit plus du tiers, répartis sur une superficie de 267 667 km² avec une densité de 6,2 habitants/km². D'autres concentrations démographiques concernent des métropoles telles que Port Gentil (150 000 habitants), Franceville (59 000), Lambaréné, Makokou, Mouila, Nyanga (Tchibanga) et Oyem. Ces conditions engendrent un besoin important en divers matériaux locaux qui satisfassent les besoins collectifs de la vie courante : voirie, assainissement, habitat, environnement, cosmétique, et bien d'autres. Le défaut de logements préoccupe fortement le gouvernement gabonais qui, en avril 2009, a convié les "forces vives de la nation" à "déclencher des processus de sa résolution". Le présent travail intitulé "Inventaire des ressources en argiles du Gabon, et leurs utilisations conventionnelles ou non dans les régions de Libreville et de Tchibanga" s'inscrit dans ce contexte. Les argiles constituent une ressource précieuse et abondante qui a été largement valorisée aussi bien dans des constructions traditionnelles en terre crue qu'en terre cuite en divers endroits du pays : Bikougou : utilisation locale en poterie ; Tchibanga : construction des habitations et édifices publics en terre cuite depuis l'époque coloniale ; Ndéndé : construction des habitations et édifices publics en terre cuite depuis l'époque coloniale ; Lebamba à la bapagassa : habitations et édifices publics en terre cuite depuis l'époque coloniale ; Mbigou : habitations et édifices publics en terre cuite depuis l'époque coloniale et des utilisations artisanales ; Bongolo : habitations et édifices publics en terre cuite depuis l'époque coloniale et des applications artisanales. Ces constructions ont exploité localement les affleurements et les dépôts récents d'argiles supergènes. Ces sites, dont aucune caractérisation précise n'est disponible, présentent encore aujourd'hui des possibilités d'exploitation à ciel ouvert. Dans le cadre d'une collaboration entre le Département des Sciences de la terre de l'Université de Yaoundé (Cameroun) et les Laboratoires (LIEC et GeoRessources) de l'Université de Lorraine à Nancy, nous avons entrepris des travaux préliminaires d'inventaire et de caractérisation des dépôts d'argiles sur plusieurs sites gabonais. Les dépôts étudiés sont généralement composés de kaolinite, quartz, montmorillonite, carbonate, illite, maghémite et anatase. Leurs compositions chimiques les prédisposent à des utilisations dans les céramiques de grande diffusion et les terres cuites. De même, sur quatorze indices d'argiles autour de Libreville (PK14, PK24, 1 km au sud de CIMGABON, Massika 1, Mefaze, Mengono, Cocobeach), deux ont montré de bons comportements en cuisson rapide et trois des comportements moyens. Les matériaux et minéraux argileux, dont l'abondance au Gabon est certaine, s'ils étaient convenablement caractérisés et testés dans des applications, constitueraient des matières premières pour la construction, la céramique, mais aussi dans

bien d'autres domaines comme la pharmacologie (galénique), la papeterie, la cosmétique, l'agro-alimentaire, le caoutchouc, la peinture, le génie civil, le génie de l'environnement...

Dans le synclinal de la Nyanga, avec la réalisation du pont sur la Banio reliant Mayumba à la capitale provinciale de la Nyanga, où la réalisation d'un port en eau profonde est en cours d'évaluation, la prise en compte du gisement de talc de Tchibanga et des anciens travaux du BRGM et du Ministère des Mines et de la Géologie du Gabon dans les localités de Minganga, Minzanzala, Ibanga, Dougandou, Louango et Mourindi est pertinente.

B. Objectifs de la Thèse

Ce sujet de thèse est un maillon d'un vaste programme de valorisation des matériaux minéraux dont l'objectif est de fournir des données directement exploitables tant aux politiques qu'aux opérateurs économiques soucieux du bien-être des populations et du développement durable au Gabon. Les différents objectifs sont l'inventaire des ressources en argiles facilement accessibles au Gabon ; l'inventaire des utilisations conventionnelles ; l'étude d'une sélection de gisements à potentiel applicatif ; le répertoire des domaines d'applications possibles de ces matériaux, y compris les domaines innovants tels que les matériaux composites. L'accent sera mis sur les applications relatives aux terres cuites : briques, tuiles, drains, carreaux et plaquettes, et aux matières en terre crue, briques et enduits. L'étendue du champ de l'étude est justifiée par son caractère pionnier, de nature à fonder des programmes de recherches spécialisées. En effet, la grande variabilité des argiles et leurs multiples utilisations conventionnelles et non conventionnelles en font des matériaux nécessaires et même indispensables pour l'amélioration des cadres de vie des populations gabonaises. Il comporte deux grands volets : Inventaire et étude des indices sélectionnés. Il sera organisé en deux parties : Inventaire des ressources : nul ne peut prétendre mener des explorations exhaustives pour inventorier les ressources en argiles du Gabon dans le cadre d'une thèse de Doctorat. Alors l'inventaire consistera en une revue bibliographique et en une enquête auprès des services publics, des organismes nationaux et internationaux, des sociétés et entreprises de travaux publics pour dresser une synthèse des connaissances actuelles sur les ressources en argiles du Gabon. Cet inventaire sera mené parallèlement à celui sur la collecte des données relatives aux ressources. A partir de la synthèse annoncée ci-dessus, une sélection d'indices d'argiles sera cartographiée, leurs échantillons seront caractérisés pour identifier les propriétés techniques généralement exploitées dans des applications conventionnelles et non conventionnelles. La caractérisation fine présente plusieurs intérêts : à savoir l'amélioration des utilisations conventionnelles ; la détermination de potentielles utilisations dans des procédés innovants ; élargissement de l'éventail des utilisations potentielles. A titre d'exemple, des travaux préliminaires menés sur l'argile de Bikougou, déjà utilisée en poterie, montrent qu'elle est composée de kaolinite, quartz, montmorillonite, carbonates, illite, maghémite et anatase. Sa composition chimique la prédispose à des utilisations dans la céramique de grande diffusion, dans les terres crues et même en pharmacologie. Notre recherche permet de localiser des exploitations d'argiles par les méthodes artisanales, d'inventorier des utilisations conventionnelles des argiles au Gabon ; d'explorer des types d'argiles importées. Une description macroscopique des échantillons prélevés sur le terrain est proposée. Des caractérisations fines sont réalisées aux moyens d'analyses chimiques en roche

totale (éléments majeurs, mineurs, traces, terres rares), en granulométrie, analyses thermiques (ATD, ATG) ; diffraction des rayons X, spectrométrie d'absorption infrarouge, capacité d'échange cationique, surface spécifique d'échantillons rigoureusement sélectionnés. L'ensemble de ces études permettra de déterminer la composition minéralogique des matériaux considérés et leurs aptitudes présumées dans certaines applications. A terme, le projet permet :

- une évaluation préliminaire des gisements ;
- un bilan minéralogique ;
- l'établissement d'un répertoire des utilisations possibles, difficiles ou interdites à partir des propriétés, de la minéralogie et des connaissances bibliographiques ;
- le perfectionnement des chercheurs ;
- la formation des formateurs ;
- une connaissance détaillée de quelques gisements spécifiques d'argiles du Gabon ;
- la création d'une banque de données sur les gisements susceptibles d'aider les investisseurs.

Les connaissances sur les argiles et leurs propriétés physico-chimiques en domaine équatorial seront disséminées à travers des publications scientifiques, l'établissement de cartes de localisation des gisements d'argiles d'intérêt économique et la comparaison avec d'autres matériaux argileux actuellement valorisés. Les retombées attendues concernent les points suivants : création de possibilités d'emplois par l'incitation à une éventuelle exploitation industrielle pour les besoins de l'urbanisation ; limitation de l'importation de matériaux utilisés pour l'habitat, par la maîtrise de l'exploration, l'exploitation et la valorisation d'argiles dans des applications relevant du bâtiment et les travaux publics (BTP). Dans le cadre de l'amélioration des conditions de vie des populations il sera mis à leur disposition des matériaux de construction accessibles. Une vulgarisation des utilisations potentielles de matériaux argileux étudiés près des populations aptes à perpétuer la construction d'un habitat en matériaux thermofuges moins coûteux et plus disponibles est au programme. La fabrication de produits utiles à la santé, la valorisation, la collaboration avec les populations, l'utilisation coutumière d'argiles, la fabrication d'objets d'art sont des aspects qui seront développés. Les objectifs visés par ce travail nous ont permis d'aboutir à un inventaire des ressources en argiles orientées vers l'élaboration des produits réfractaires, dans le simple but de participer de manière forte et inlassable à la résorption en déficit en logements au Gabon à partir des matériaux locaux par la mise à disposition des données directement utilisables par les industriels ou les PME-PMI. Malgré les fortes volontés affichées par les PME-PMI, ces organisations ont du mal à concilier les matériaux minéraux argileux aptes aux produits de terre cuite et le tout-venant matériaux qu'ils utilisent de manière hasardeuse. Le matériel performant de mise en forme de ces produits finis à la base de tout-venant matériau de sol qu'elles appellent argile à cause de non présence des bloc caillouteux (fractions grossière des cailloux) ont du mal à trouver l'argile adéquate.

Chapitre I : Revue de la littérature sur les argiles et leurs utilisations

I.1. Définition

Au début du vingtième siècle, la découverte de rayonnements électromagnétiques ou particulaires à courtes longueurs d'onde (voisines du nm) a permis de révéler la nature cristalline (au sens de Friedel) des minéraux argileux (Millot, 1964). Selon Mering et Glaeser (1954), les argiles sont donc des matières cristallisées, siège d'une organisation atomique précise délimitant un volume minimal qui les définit : la maille élémentaire, dont les translations permettent de reconstituer la totalité de l'édifice. Cette disposition permet la diffraction des rayonnements X ou de particules (électrons, neutrons). Eslinger et Peaver (1988) proposent de définir les argiles comme un minéral qui domine dans la fraction fine, < 2 µm, des roches et des sols. L'Association Internationale pour l'Etude des Argiles (AIPEA) et la « Clay Minerals Society », définissent le terme argile comme tout matériau naturel composé de grains fins, qui passe à l'état plastique pour des teneurs en eau avoisinant 20% et durcit par séchage ou frittage (Guggenheim *et al.*, 2002). La plasticité est l'aptitude d'un matériau à conserver une déformation lorsque la contrainte l'ayant engendrée n'est plus appliquée. La notion de grains fins concerne les dimensions < 2 µm pour la plupart des géologues, mais elle est de 4 et 1 µm pour les sédimentologues et les chimistes des colloïdes, respectivement. Caillère *et al.*, (1982), reprennent les définitions par la taille et la plasticité, mais proposent une architecture de classification fondée sur des définitions structurales qui finalement définissent les argiles comme des minéraux appartenant à une liste arbitraire groupant principalement les silicates présentant des groupements $[\text{SiO}_4]^{4-}$ en feuillets (phyllosilicates), auxquels se rattachent aussi les micas et le talc. Selon les définitions, certains autres minéraux, comme les palygorskites et les sépiolites, aussi rattachés aux argiles et aux phyllosilicates pourraient aussi bien être rangés parmi les silicates en chaînes (Inosilicates). Cependant, ces espèces sont rangées parmi les argiles en raison de ce qu'elles apparaissent dans les mêmes contextes géologiques que les autres minéraux argileux. Il résulte de cette dernière approche une quatrième définition des argiles par identité de conditions de genèse, « Solides géologiques fins résultant de l'altération supergène des roches », ce qui fait, selon cette approche, que certains oxydes, hydroxydes et oxyhydroxydes de fer, aluminium et manganèse, mais aussi nickel, calcium et magnésium (hydroxydes lamellaires multiples) sont rattachés aux minéraux argileux. La classification et la détermination des argiles reposent principalement sur la diffraction des rayons X. Quand une réflexion est observée, on peut remonter, de façon simple, à l'équidistance réticulaire en utilisant la loi de Bragg définie par la relation : $2d\sin\theta = n\lambda$ avec d : équidistance entre une série de plans parallèles entre eux λ = longueur d'onde de la source ; θ = angle entre le faisceau incident et la série de plans en question. Les phyllosilicates sont définis par des assemblages plans d'ions orthosilicates liés entre eux par trois de leurs oxygènes, le quatrième étant toujours tourné du même côté. Partant de cette structure, il existe trois configurations différentes. Soit un feuillet de tétraèdres silicatés est associé à un feuillet octaédrique hydroxylé (structure dite TO ou 1 : 1), soit un feuillet octaédrique est disposé entre deux

feuillets silicatés (structure dite TOT ou 2 : 1), soit un feuillet octaédrique hydroxylé ajouté à une structure TOT (on obtient ainsi une structure dite TOTO' ou 2 : 1 : 1). Les feuillets TO ont une équidistance d'empilement voisine de 7 Å, les feuillets TOT de 10 Å pour une humidité relative nulle, les feuillets TOTO' de 14 Å. L'équidistance d'empilement permet donc une première distinction entre les argiles (**Figure I.1**). Les structures précédemment définies montrent des couches octaédriques qui doivent compter six charges positives par demi-maille et il existe deux modes principaux de remplissage soit par trois cations bivalents, soit par deux cations trivalents et une lacune, dans le premier cas, on parle de remplissage trioctaédrique, dans le second de remplissage dioctaédrique. Enfin, il existe un troisième registre de classification lié à ce que des remplacements de cations tétraédriques ou octaédriques par d'autres cations peut ne pas respecter la règle d'électroneutralité, dans ce cas, le feuillet présente une charge électrique négative et des cations dits compensateurs s'insèrent dans le domaine interfoliaire pour assurer la neutralité électrique de l'ensemble. Pour certains représentants des familles à défaut de charge, les cations compensateurs peuvent se solvater diversement selon l'humidité relative ce qui engendre une augmentation de l'équidistance d'empilement avec la pression partielle en eau ; ces représentants s'appellent les argiles gonflantes ou smectites. Certaines argiles, peuvent être le siège d'interruptions de feuillets, ce qui produit des édifices à canaux microporeux calibrés (palygorskites et sépiolites aux propriétés spécifiques).

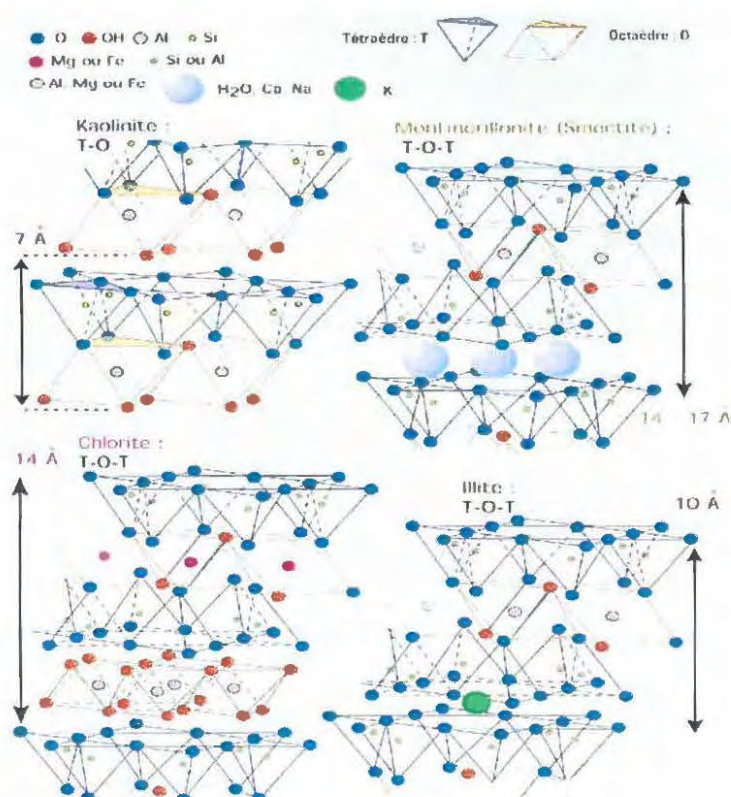


Figure I.1 : Minéraux argileux (Deconinck, 2006)

La pyrophyllite et le talc ont des structures TOT non gonflantes à 10 Å environ, soit de 9,16 Å et 9,36 Å selon Grüner (1934).

I.2. Minéralogie et cristallographie des grands groupes des phyllosilicates

La minéralogie quantitative relève d'un problème qui est celui de répondre à une interrogation, fondée sur la loi qui permet de calculer les propriétés d'un mélange à partir de ses composants ou sur sa réciproque. Selon Yvon *et al.*, (1987), Johnson *et al.*, (1985), son principal intérêt est de pouvoir traiter selon des règles d'additivités, tout paramètre minéralogique pondérable par la masse. Dans le cas des argiles, il est recommandé de mieux rechercher dans la littérature tous les contours y afférents pour cette question, ce qui a valu une revue par Letellier (1986). La minéralogie quantitative à partir de micro-analyse sur des minéraux argileux répond à un nombre restreint de besoins ; cette approche ne constitue pas une fin en soi et n'est utile que si elle concerne des matériaux déjà convenablement caractérisés, avec un objectif clairement défini. Pour enfin matérialiser ce processus qui demande la vérification permanente d'hypothèses de calcul et le recours à des informations externes, sa mise en œuvre nécessite une bonne connaissance qualitative. De ce point de vue, les analyses chimiques permettent de définir la variabilité microscopique d'assemblage de minéraux en nature et en quantité pour construire un outil de minéralogie quantitative à partir des analyses chimiques en roche totale (Letellier, 1986). Dans les matériaux argileux, l'existence de phases dont le comportement en diffraction des rayons X conjugue l'assemblage de différents feuillets simples sont qualifiées des minéraux interstratifiés, avec un empilement régulier ou irrégulier, témoignant d'un stade d'évolution du minéral vers un autre au cours de l'altération et par la suite de la diagénèse (Brown et Brindley, 1980 ; Caillière *et al.*, 1982). C'est une étape qui détermine des minéraux détritiques en suspension dits colloïdaux (Gibbs, 1967).

I.2.1. La Kaolinite et les argiles 1 : 1

Selon Millot (1964), le mot Kaolinite a été utilisé pour la première fois par Johnson et Blacke (1867). Sa composition établie par Grüner (1932), révisée par Brindley et Robinson (1946), se définit comme suit : $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$.

I.2.2. Les Illites 2 : 1

Le terme d'illite a été proposé par (Grim *et al.*, 1937) qui désignait au tout début, l'ensemble des minéraux argileux de structure voisine de celle des micas. Les analyses chimiques effectuées alors ont montré que moins d'un silicium sur quatre était remplacé par un aluminium ce qui pouvait diminuer la quantité d'alcalins entre les feuillets. Cependant, les aluminiums octaédriques sont fréquemment remplacés par les ions Mg , Fe^{2+} , Fe^{3+} . De ce point de vue, une formule structurale variable d'illite est définie par : $\text{Al}_2\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{K}_x$ où Al peut être substitué par des bivalents avec x compris entre 0,5 et 0,75. Une difficulté a été rencontrée dans l'établissement de la formule structurale des illites (ou hydromicas) (Brown et Norrish, 1952) selon lesquels le remplacement du potassium en position interfoliaire par des ions H_3O^+ conduit à des formules structurales plus satisfaisantes, du type : $(\text{Al}, \text{Ti}, \text{Mg}, \text{Fe})_2(\text{Si}_{4-x}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_2\text{K}_x$. Les illites sont aujourd'hui à considérer comme des micas fins à défaut de charge. Selon Price et Walsh, (2008), l'illite est une des argiles les plus

fréquentes mais désormais classée parmi les micas dont la formule structurale schématique est $Al_2Al_{0,65}Si_{3,35}O_{10}(OH)_2.K_{0,65}$. Cette structure conforte l'hypothèse de déficit en potassium dans les micas signalé par [Brown et Norrish \(1952\)](#).

I.2.3. Les Montmorillonites (Smectites) 2 : 1

Le terme montmorillonite a été proposé par [Damour et Salvétat \(1847\)](#) d'après le nom de Montmorillon (Vienne, France). Les montmorillonites sont des phyllosilicates à faible défaut de charge octaédrique ; les liaisons entre les feuillets sont faibles, si bien que l'eau se glisse entre ces feuillets en quantité variable, ce qui donne à la périodicité de l'empilement une valeur également variable souvent voisine de 14 Å. La permutation des ions échangeables, le traitement par polyalcools, modifient cette périodicité entre 10 Å et 20 Å, dans des conditions reproductibles sur lesquelles reposent les méthodes de détermination modernes. La structure a été établie par [Hofmann et al. \(1933\)](#). L'étude du groupe dans ses variétés date des travaux réalisés par [Ross et Hendricks \(1943-1944\)](#). Les variétés de ce groupe sont extrêmement nombreuses occasionnées par le remplacement des ions dans la structure ([Figure I.1](#)). Dans ce groupe, nous pouvons citer les beidelites (dont les nontronites), stévensites, saponites, hectorites, antigorites... [Caillère et al., \(1982\)](#). La structure de ces derniers ne sera pas détaillée en raison de ce que nous ne les trouverons pas dans nos objets d'étude.

I.2.4. Chlorite 2 : 1 : 1

Le terme de chlorite a été utilisé par Werner au 18^{ème} siècle pour désigner les minéraux phylliteux de couleur verte et riches en fer ferreux. Une grande variété existe, en raison des multiples substitutions homéotypes possible dans la structure. Les chlorites sont connues depuis très longtemps dans les schistes cristallins, les roches hydrothermales et les altérations de nombreux silicates. Dans les produits argileux, leur identification est beaucoup plus récente car elles furent déterminées dans les sédiments actuels ([Correns, 1937 ; Grim et al, 1949](#)), dans les sols ([MacEwan, 1948](#)) et dans les roches sédimentaires ([Milot, 1949 ; Ekhardt, 1958](#)), certains sédiments sont même composés de chlorite ([Milot, 1954](#)). La structure des chlorites en référence à la [figure I.1](#), est en couches alternées de mica trioctaédrique dont la liaison est assurée par des couches d'hydroxydes. La distance de grand espacement réticulaire est de 14 Å environ, mais elle est fixe suivant la structure générale des chlorites définie comme suit : $Mg_{(6-x-y)}Fe_xAl_x(Si_{(4-x)}Al_x)O_{10}(OH)_8$.

I.2.5. Les vermiculites 2 : 1

La vermiculite, est un minéral présentant un aspect de mica, qui prend l'allure de vermicules quand on le chauffe, et a été longtemps considéré comme une variété de mica trioctaédrique. Il existe des vermiculites dioctaédriques et d'autres trioctaédriques. Les vermiculites présentent le caractère des substitutions tétraédriques et octaédriques non isoélectriques. [Grüner \(1934\)](#) a établi la structure en montrant que la vermiculite se résumait à des couches de micas séparées par des molécules d'eau. Selon [Hendricks et Jefferson \(1938\)](#), la structure

n'est pas électriquement neutre et des ions interfoliaires, le plus souvent Mg ou Ca assurent l'électroneutralité.

1.2.6. Le Talc 2 : 1

Dans ce groupe, il n'existe pas de remplacement du silicium tétraédrique par l'aluminium, et donc pas d'alcalins entre les couches, ce qui explique suivant [Grüner \(1934\)](#), la facilité avec laquelle les feuillets de talc glissent les uns sur les autres. Dans ce dernier groupe, il est rare de trouver la pyrophyllite et le talc dans l'hydrosphère, on les trouve plutôt dans les roches hydrothermales, métasomatiques et même métamorphiques où leur présence questionne moins que dans les sédiments ([Thiébaud, 1951](#) ; [Harder, 1956](#)). La formule structurale schématique du talc est : $Mg_3Si_4O_{10} \cdot (OH)_2$.

1.3. Les argiles dans l'industrie céramique

Selon le pôle européen de la céramique, on appelle céramique, des matériaux non métalliques, obtenus par l'action de fortes températures. En matière de construction, pour les maisons individuelles, les bâtiments commerciaux, administratifs, ou encore les logements collectifs, les produits de terre cuite sont utilisés à savoir : les tuiles, les briques, les revêtements de sol et de mur, les drains et les conduites. Conciliant des qualités esthétiques et de durabilité, ces produits, à faible impact environnemental, sont des matériaux-phares dans le domaine du bâtiment. De plus sa longue histoire d'utilisation laisse supposer à la terre cuite un avenir encore prometteur surtout en Afrique et en particulier au Gabon.

1.3.1. Les céramiques traditionnelles

Le nom «céramique regroupe» un grand nombre de produits manufacturés issus de matières premières diverses qui durcissent quand elles sont chauffées à haute température. L'industrie céramique (1992) partage les produits céramiques en six classes principales :

- les produits de terre cuite,
- les faïences,
- les grès,
- les porcelaines,
- les produits réfractaires,
- les céramiques techniques avancées.

Dans le tableau 1.3.1, sont regroupées les différentes céramiques avec leurs matières premières types ainsi que leurs domaines d'utilisation. Les Généralités présentées dans ce paragraphe sont issues principalement de données classiques de [Champreux \(1992\)](#).

Tableau 1.3.1: Grandes classes de produits céramiques (Balavoine, 2002)

	Caractéristiques	Types de produits	Utilisations
Produits de terre cuite	Matières premières : argiles, marnes.		Tuiles et accessoires. Briques pleines, creuses et de parement, Hourdis
	Cuisson entre 900 et 1100°C	bruts, émaillés ou vernissés	Conduits de fumées, boisseaux de cheminées Tuyaux de drainage Carreaux de dallage
	Produits poreux naturellement colorés		Poteries horticoles, culinaires et ornementales
Faïences	Matières premières : argiles, kaolins, quartz et matières d'addition.	- à pâte siliceuse - à pâte argileuse (colorée ou blanche)	Vaisselle de table Pièces décoratives
	Cuisson entre 950 et 1250°C		Carreaux de revêtement mural
	Produits à tesson poreux recouvert par un émail transparent ou opaque.		
Grès	Matières premières : argiles grésantes, kaolins, feldspathes 1.1. et 1250°C	Grès cérame fin vitrifié, grès étiré, grès émaillé.	Carreaux de sol et mur
	teson vitrifié recouvert ou non d'un émail. Résistance à l'usure, au poinçonnement, aux agents chimiques.	Gros grès, grès fin Grès anti-acide Poterie de grès	Pièces sanitaires Grès de chimie Vaisselle utilitaire, pièces décoratives et de construction
Porcelaines	Matières premières : kaolins, argiles cuisant blanc, feldspaths, quartz, fritte, talc, os...avec ou sans additions.	Durs (feldspathiques, cordiéritiques, stéatites...)	Vaisselle de table, pièces décoratives, porcelaine dentaire, pièces d'électrotechnique, bougies de moteur
	Cuisson entre 1100 et 1300°C	Vitreous China	Appareils sanitaires, vaisselle hôtelière et collectivités
	Tesson vitrifié recouvert ou non d'un émail transparent.		
Produits réfractaires	Pâte fine et blanche translucide sous faible épaisseur (2mm).	Tendres (à fritte, phosphatiques : bone china,...)	Vaisselle de table, pièces décoratives
	Matières premières réfractaires à base d'alumine, silice, dolomie, magnésie, zircone, carbone,...	- Façonnés (denses ou isolants) : - briques - pièces de formes - Non façonnés (denses ou isolants) : - pisés - mélanges plastiques - bétons - mélanges projectables - enduits et revêtements de surface - matériaux de jointoiement (coulis et ciments réfractaires) - Fibres et matériaux à base de fibres céramiques : - nappes, feutres, modules, pièces préformées, papiers, cordons, tresses bourrelets - bétons fibreux, ...	Applications dans toutes industries à équipements thermiques : - sidérurgie - métaux non ferreux - verre, céramique - ciments, chaux, - chimie, pétrochimie - production d'énergie - installation d'incinération - chauffage
	Cuisson entre 1250 et 2000°C		
	Résistance aux températures élevées et à l'action physique ou chimique chaude ou froide.		

I.3.2. Transformations des minéraux argileux à la cuisson

Un mélange classique se compose principalement d'argiles et de quartz. Cependant les argiles utilisées en céramique ne sont pas d'une très grande pureté. En effet on retrouve différents types d'argiles comme la kaolinite, l'illite et parfois des argiles indésirables comme les smectites (montmorillonites) pour son fort retrait lors de la cuisson. On trouve également des impuretés aux argiles (feldspaths, oxyde et hydroxydes de fer, pyrite, matières organiques et bien d'autres) qui peuvent influencer la qualité ou l'esthétique des produits finis après la cuisson. A la cuisson, les minéraux argileux se transforment en de nouveaux minéraux non hydratés, les transformations étant qualitativement fonction de l'énergie que leur fournit l'élévation de la température. Pour les minéraux associés par contre, si certains se transforment par dissociation comme les carbonates, d'autres, en particulier le quartz et les feldspaths, peuvent rester inchangés aux températures usuelles de fabrication des produits avec tessons poreux. Ainsi, lors des transformations minéralogiques des minéraux argileux, dès l'instant où ils perdent leur identité initiale et que la porosité de la roche devient momentanément maximale, ces derniers passent par des minéraux néoformés, dont la composition et la forme cristalline dépendent essentiellement de la température, le processus pouvant aller jusqu'à la résorption en phase vitreuse lors de la fusion. En céramique architecturale tout particulièrement, les terres utilisées n'étant jamais monominérales, l'évolution minéralogique est donc nécessairement celle de plusieurs minéraux pouvant réagir les uns avec les autres. Sigg (1991) a répertorié brièvement par quelles transformations passent les principaux minéraux, puisque selon les fabrications et les tessons correspondants, certaines sont effectivement prépondérantes (Tableau I.3.2). En effet la cuisson de mélanges riches en illite ferrique, étudiés par Jordan *et al.*, (1999), forme de l'hercynite. Khalil et Kabesh (1980) ont suivi l'évolution de la composition minéralogique de produits cuits entre 900 et 1200°C. Le quartz, l'hématite, les plagioclases (albite ou des anorthoses) et la cristobalite sont les principales phases déterminées à plus de 900°C.

Tableau I.3.2 : Transformations des principales argiles par traitement thermique
(Balavoine, 2002)

Kaolinite	$Al_2(Si_2O_5)(OH_4)$	
à partir de	jusqu'à	Processus et nouveaux minéraux présents
470°C		Départ de l'eau de constitution, phase amorphe et métastable (métakaolin)
850°C	970°C	Non toujours vérifié, formation d'une phase cristalline intermédiaire de formule $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ + silice amorphe (Al-Si-spinelle)
970°C	1300°C	Formation de mullite $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$
1250°C	1425°C	Formation de cristobalite à partir de la silice résiduelle
frittage	1350°C	En résumé $3[Al_2(Si_2O_5)(OH_4)] \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + 4SiO_2 + 6H_2O$
fusion	1700°C	mullite cristobalite
Remarques :		
- Processus de frittage sans phase vitreuse.		
- En fabrication, la présence de kaolinite offre l'avantage de relever la température de ramollissement (meilleure tenue au feu), l'illite par exemple, ayant un effet inverse.		
Illite	$K_{0,58}X_{0,17}(Al_{1,55}Fe^{3+}_{0,20}Mg_{0,25})(Si_{3,5}O_2Al_{0,5})O_{10}(OH)_2 \cdot YH_2O$	
à partir de	jusqu'à	Processus et nouveaux minéraux présents
130°C		Départ de l'eau adsorbée
400°C	550°C	Départ de l'eau de constitution
900°C	1000°C	Formation possible de spinelle $MgAl_2O_4$ et apparition d'hématite Fe_2O_3 à partir du fer que contient le plus souvent le réseau cristallin
		Formation de corindon Al_2O_3 et de sanidine $(K, Na)AlSi_3O_8$
1050°C	1200°C	Apparition de mullite à partir de la mise en fusion partielle et progressive des minéraux antérieurs.
Montmorillonite	$X_{0,33}(Al_{1,50}Mg_{0,5})(Si_{3,5}O_2Al_{0,5})O_{10}(OH)_2 \cdot YH_2O$	
à partir de	jusqu'à	Processus et nouveaux minéraux présents
150°C	250°C	Départ de l'eau interfoliaire et de celle pouvant être liée aux cations interchangeables
500°C		Départ de l'eau de constitution
800°C		Apparition possible de spinelle $MgAl_2O_4$ et formation d'hématite Fe_2O_3 , corrélativement, destruction du réseau initial (analogie avec les modifications qui caractérisent l'illite)
1050°C	1300°C	Fusion progressive des cristaux antérieurs avec cristallisation de mullite associée à une phase vitreuse.

I.4. Les paramètres qui influencent les propriétés des matériaux après cuisson

Les propriétés des matériaux après cuisson sont influencées par différents paramètres : la composition minéralogique et chimique des matières premières, la distribution granulaire, ainsi que les conditions de conduite. Nous allons essayer, dans ce paragraphe, de lister les paramètres et résumer leur implication au niveau des propriétés.

I.4.1. Illites

Du fait de la présence de K_2O , le point de fusion est abaissé (1050-1150°C) ; en conséquence, le retrait à la cuisson est rapidement important, soit plus particulièrement à partir de 1050°C. Pour retarder une fusion partielle trop précoce, l'ajout de CaO peut s'avérer intéressant. Cependant la présence d'illites dans les mélanges argileux n'a pas que des inconvénients. En effet, favorisant la formation de verre, elle engendre une porosité apparente et une absorption d'eau faible (Khalil et Kabesh, 1981 ; Schmidt-Reinholz, 1991-a).

I.4.2. Montmorillonites

Les smectites compliquent le séchage (retrait et rétention capillaire en augmentation). En revanche, la surface spécifique étant plus importante, son action plastifiante est particulièrement efficace (ceci vaut aussi pour les interstratifiés) (Sigg, 1991). Khalil et Kabesh, (1981) et Sigg (1991) s'accordent sur le fait que la montmorillonite, dans les qualités argilo-marneuses, améliore la résistance mécanique du tesson en cru. Khalil et Kabesh, (1981) ont également étudié l'influence des montmorillonites sur d'autres propriétés, la porosité apparente et l'absorption d'eau avant cuisson sont élevées.

I.4.3. Muscovites

Étant donné leur parenté, le comportement de ces minéraux est analogue à celui de l'illite. Et dans les deux cas, on peut préconiser le même traitement : l'ajout de CaO pour retarder l'apparition d'une fusion partielle trop précoce (Sigg 1991).

I.4.4. Chlorites

Les chlorites conventionnelles, du fait de leur structure lamellaire, conduisent à former une texture défavorable pour la mise en forme plastique, et présentent un pouvoir dégraissant plus ou moins marqué qui diminue le pouvoir liant des masses et la sensibilité au séchage des pièces crues. En revanche, au niveau du retrait de séchage, les chlorites gonflantes ont le même effet que les montmorillonites, elles augmentent le retrait de séchage. Les chlorites ont l'avantage de présenter aux températures intermédiaires de cuisson (vers 650°C) une expansion qui compense le retrait des autres argiles.

I.4.5. Autres minéraux

I.4.5.1. Mullite

La présence de mullite améliore le caractère réfractaire des systèmes, elle engendre une expansion et une conductivité thermique faibles, une bonne stabilité chimique et des propriétés mécaniques excellentes à haute température. Le développement de la mullite peut être amélioré par ajout d'aluminosilicates dans le mélange initial (fines de silice et d'alumine par

exemple, ou d'andalousite naturelle). Cela s'illustre par la mullitisation comportementale de mélanges d'alumine d'argile calcinés (Viswabaskaran, 2003).

I.4.5.2. Carbonates

L'ajout de carbonates dans le mélange argileux avant cuisson :

- réduit l'anisotropie de la structure du produit céramique,
- a une action minéralisatrice pendant la cuisson,
- diminue la quantité de quartz résiduel et, de ce fait, réduit les craquages au refroidissement,
- favorise la formation de pores circulaires,
- réduit le volume de gaz émis.

Cependant leur influence sur la porosité est bien connue. La porosité à l'eau diminue lorsque la teneur en chaux diminue dans le mélange de fabrication (Schmidt-Reinholz, 1993), de plus du fait d'une plus grande porosité, la résistance mécanique des tessons est généralement moindre.

I.4.5.3. Phosphates

Bogahawatta et Poole (1991) ont comparé des briques sans et avec ajouts de phosphates sous la forme d'une solution d'acide orthophosphorique et de diammonium hydrogéné-phosphate. De plus ils ont fait varier le rapport entre les deux solutions et le pH de la solution finale. Ils tirent plusieurs conclusions. Les mélanges argileux qui ont une bonne résistance après cuisson contiennent 3.16 % d'ions phosphates. Une plus grande résistance est obtenue à 500°C et augmente de 60 % par rapport aux produits non modifiés cuits à 800°C. La température de cuisson des produits peut être diminuée de façon significative avec l'ajout de phosphates, de plus ils présentent des retraits de séchage plus faibles.

I.4.5.4. Sable

Plusieurs auteurs mentionnent l'amélioration des propriétés mécaniques des produits céramiques en réduisant la taille des particules de sable (Khalil et El-Korashy, 1989). De plus Khalil et El-Korashy (1989) ont montré que l'addition de sable, dont 88 % des grains ont une taille comprise entre 1 et 0.2 mm, la densité apparente de la matière première croît, la porosité et l'absorption d'eau diminuent et la résistance à la compression augmente.

I.4.5.5. Feldspaths

Dans les matières premières à tuiles, on peut rencontrer les feldspaths potassiques (orthose, microcline...), sodiques (albite) et calciques (anorthites). Les deux premiers sont source de K_2O et Na_2O qui vont agir dans le sens d'une fusion partielle plus précoce qu'il faudra peut-être corriger par apport d'oxydes réfractaires Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO . Schmidt-Reinholz (1995) a étudié l'influence des feldspaths sur des briques ; les résultats sont variables selon que les argiles sont marneuses ou maigres. Différents paramètres sont étudiés avant et après

ajout de 10 % en masse, de sable feldspathique, à la matière première. Le retrait de séchage diminue dans le cas d'argiles marneuses ; pour les argiles maigres l'expansion est diminuée. La densité des briques à base d'argiles maigres diminue légèrement, pour les marnes on ne note aucun changement. La répartition porométrique, mesurée par porosimétrie au mercure, est légèrement modifiée ; en effet le rayon moyen des pores augmente pour les marnes et diminue pour les argiles maigres.

I.4.5.6. Oxydes (Fondants)

Les agents fondants sont des promoteurs de phase vitreuse, plus la quantité d'oxydes fondants est importante, plus la densification des produits est importante (Khalil et El-Korashy, 1989). Il est bien évident toutefois que tout minéral susceptible d'amener K_2O , Na_2O ou FeO va agir dans le sens d'une fusion partielle plus précoce, chose qu'il faudra peut-être corriger par un apport d'oxydes plus réfractaires, soit Al_2O_3 , SiO_2 , CaO , (MgO) , Fe_2O_3 étant, dans ce cas, plutôt neutre. En revanche, l'oxyde de fer influence fortement la couleur du tesson. Avec les terres sans calcaires ou pauvres en CaO , la couleur produite par l'hématite dépend avant tout de la température, et passe du rose au rouge de 800°C à 1000°C. Ensuite, la couleur a tendance à foncer toujours davantage pour devenir brunâtre à haute température, avec la formation de silicates de fer du type fayalite (Fe_2SiO_4). C'est généralement le cas avec les terres illitiques. Lors de la cuisson des matières premières sans calcaire avec formation de mullite, selon la température, la mullite peut absorber une certaine quantité de Fe_2O_3 , la couleur pouvant passer du blanc à la teinte crème. En présence d'une quantité encore plus grande de Fe_2O_3 la couleur passe du rose au rouge. De ce fait, pour que les produits à base d'argile kaolinique restent blancs, il est nécessaire que Fe_2O_3 n'excède pas 1 %. Delineau (1994) a étudié également l'évolution des paramètres chromatiques avec la température sur des kaolins. Entre 800 et 1100°C, le fer structural des kaolins semble rester dans les produits de transformations de la kaolinite, et il y a en plus possibilité d'incorporation de fer libre (digestion de l'hématite) au sein de ses phases (mullite). Macroscopiquement certains échantillons perdent leur teinte rosée.

I.4.5.7. Sulfates

Les sulfates, qu'ils soient présents dans la matière première initiale ou qu'ils se forment pendant la cuisson, peuvent engendrer des problèmes de sels efflorescents. Pour limiter les efflorescences, la silicatisation reste un facteur important. $CaSO_4$ et Na_2SO_4 (sels les plus significatifs) pouvant réagir avec les alumino-silicates et la silice.

Conclusion

Les mots « argile » « minéral argileux » ou « roche argileuse » ne relèvent pas d'une définition universelle. En revanche, selon les domaines d'application, le milieu de sa genèse, de sa localisation, l'aventure des besoins et du savoir de l'homme nous amène à dire que l'argile est définie pour sa juste valeur. Mais, par respect d'éthique, les praticiens dans le

domaines des argiles peuvent s'accorder suivant les domaines d'utilisations de ces matériaux minéraux de structures très utiles que l'argile représente la fraction fine de sol granulaire et minéralogique inférieure ou égale à 2 μm . Les produits de terres cuites, avant cuisson, doivent nécessairement être convertis en produits aptes à la cuisson une fois bien caractérisés, teneurs massiques et oxydes des phases monominérales définis.

Chapitre II : Contexte géographique et géologique de l'étude

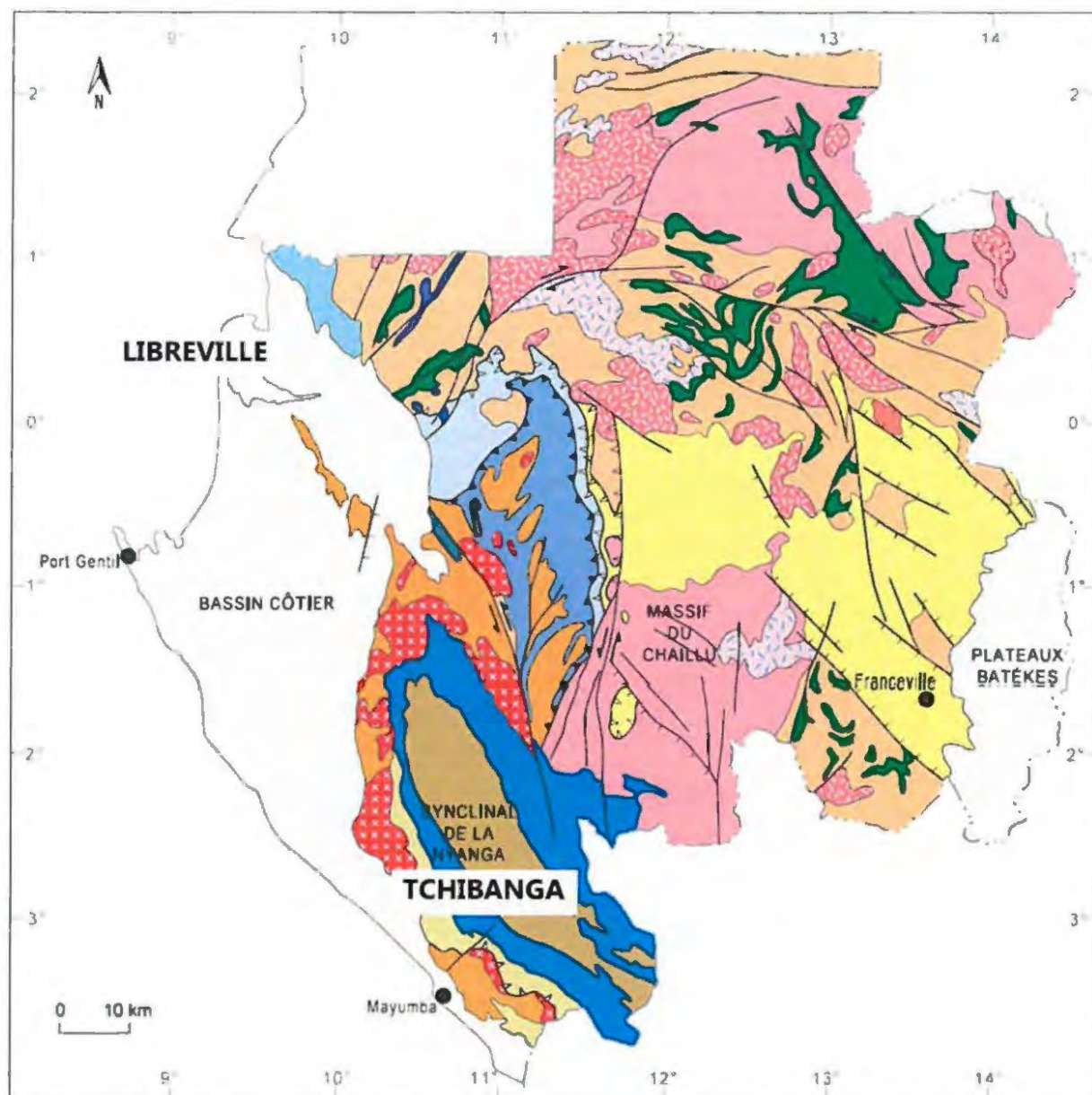
Introduction

Le Gabon montre des grandes variations dans sa géologie, où figurent des roches datant de l'archéen (>2 500 Ma) jusqu'à des dépôts cénozoïques récents (Thiéblemont *et al.*, 2009). Les roches du précambrien affleurent au centre du pays, couvrant plus des deux tiers de sa surface. Elles sont flanquées à l'ouest et à l'est de deux bassins phanérozoïques. Ce soubassement précambrien fait partie du bombement atlantique (Cahen *et al.*, 1984) et qui s'étend sur 1300 km le long de la côte atlantique, depuis l'Angola au sud jusqu'au Cameroun au nord. C'est dans le cadre géodynamique ouest-africain que cette subdivision de la géologie du Gabon a été répartie en quatre grandes unités tectonostratigraphiques que sont le socle archéen daté de 3200 et 2600 Ma (Prian *et al.*, 1998 ; Chevallier *et al.*, 2002 ; Prian *et al.*, 2009c) ; la ceinture mobile paléoprotérozoïque de l'Afrique du Centre-Ouest et ses bassins d'avant-pays datée de 2,5 Ga et 1,5 Ga (Feybesse *et al.*, 1998) ; la ceinture orogénique Néoprotérozoïque de l'Ouest Congo datée de 1,4 Ga et 540 Ma (Maurin, 1993) et la dernière unité est, l'ensemble phanérozoïque regroupant le Cambrien à nos jours (Thiéblemont, 2009). Plus au nord du pays, dans la ceinture plutonique néoarchéenne datée de 2700 Ma, caractérisée par des massifs circonscrits intrusifs (Bassot *et al.*, 1987 ; Thiéblemont *et al.*, 2009h-i), trois familles de faciès de situations géographiques différentes sont définies à savoir :

- Des granitoïdes mésocrates comprenant des diorites quartzites, des granodiorites circonscrits dans la région de Mitzié (Prian *et al.*, 1998) ;
- Des granitoïdes leucocrates comprenant des monzogranites et granites à biotite, intrusifs au cœur des domaines gneisso-migmatitiques ;
- Des granites leucocrates d'affinité plus ou moins alcaline comprenant des monzogranites porphyroïdes, des syénites, des granites alcalins. Ces massifs acides sont la caractéristique du nord Gabon.

Au nord-ouest du Gabon existe une abondance des roches gabbroïques à clinopyroxène et hornblende ayant subi une phase d'altération hydrothermale tardive (Figure II).

En somme, au nord du pays nous avons un compartiment des roches acides caractéristique du socle Est-Gabonais (Thiéblemont *et al.*, 2009).



Légende

Phanérozoïque

Dépôts continentaux et marins



Néoprotérozoïque

Bassin de la Noya



Orogène panafricain de l'Ouest-Congo



Séries détritiques terminales



Bassin carbonaté de la Nyanga



Bassin interne (Mayombe)

Paléoprotérozoïque

Orogène éburnéen



Complexe plutonique éburnéen (~ 2808 - 1950 Ma)



Avant-pays Complexe alcalin de Ngoutou (2027 ± 55 Ma)



Avant-pays bassins francevilliens (< 2100 Ma)



Bassins syn-orogéniques (< 2100 Ma)
N : Ndjolé K : Kolissen



Bassin anté-orogénique (< 2400 Ma - > 2100 Ma)

Archéen à Paléoprotérozoïque

Orogène pré-éburnéen



Domaines gneisso-migmatitiques (~ 2450 Ma)

Néoarchéen

Complexe filonien tardi-néoarchéen



Roches mafiques et ultramafiques

Orogène néoarchéen



Suite plutonique (~ 2700 Ma)



Complexes gneisso-migmatitiques (~ 2750 Ma)

Méso- à Néoarchéen

Sillons volcano-sédimentaires et ferrifères



Groupe de Bél nga (2870 - 2750 Ma)

Mésoarchéen

Craton mésoarchéen



Complexe charnockitique (~ 2820 Ma)



Complexe granitoïde (~ 3000 - 2810 Ma)

Structures



Contour géologique



Faïlle



Chevauchement majeur



Chevauchement, décollement



Faïlle normale

Figure II : Les grands ensembles lithostratigraphiques du Gabon (Thiéblemont *et al.*, 2009)

II.1. Les formations géologiques dans les régions de Libreville et de Tchibanga aux temps phanérozoïques

Le phanérozoïque (550 à 350 Ma) regroupe l'ensemble des dépôts continentaux et marins comprenant les formations sédimentaires d'âge permien à crétacé inférieur, déposées dans un bassin inférieur de direction (SE-NW), (Thomas *et al.*, 2001). Le principal événement qui a caractérisé le phanérozoïque au Gabon est la création du domaine côtier atlantique qui conduira au dépôt d'une série sédimentaire continentale à marine occupant l'ensemble de la façade ouest du territoire gabonais. C'est un événement circonscrit à l'Ouest-Gabon

(Chevallier *et al.*, 2002 ; Mbina et Guiraud, 2009). Ces formations comptent des dépôts d'âge crétacé inférieur à éocène, déposés sur la marge atlantique à l'issue du rifting et qualifiés de post-rift. Un ensemble latéritique (latérites), des formations sédimentaires côtières d'oligocène à miocène (Séranne *et al.*, 1992 ; Chevallier *et al.*, 2002) comprend :

- sables argileux, carbonates ou (latérite) ;
- des puissants dépôts sableux, d'âge au moins pliocène à quaternaire communs à l'ouest (domaine côtier du groupe de Cirques : sables kaolinisés, grès argileux, argiles kaoliniques) et à l'est (plateaux et sables Batéké) du pays reposant sur tous les terrains archéen à miocène ;
- un ensemble associant une brèche polygénique (Stone line) et le groupe des alluvions sableuses à limoneuses.

II.1.1. Le groupe d'Agoula

Le groupe d'Agoula daté du Permien, reposant sur le socle, a une épaisseur maximale d'environ 400 m, il est caractérisé par le dépôt des séries détritiques argileuses à gréseuses, dont la base comprend un conglomérat polygénique (Teisserenc et Villemin, 1990).

II.1.2. Le groupe de M'Vone

Le groupe de M'Vone daté du Jurassique, fait suite au Permien d'une épaisseur variant de 200 m au Nord à 300 m au Sud, il repose sur celui de l'Agoula, il est caractérisé par du grès argileux, avec présence de niveaux conglomératiques à la base (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009a et b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.3. Le groupe de N'Dombo

Le groupe de N'Dombo d'âge Néocomien inférieur (Berriasien) d'après Guiraud et Maurin (1991). Ce groupe reposant sur celui de M'Vone, est représenté par un ensemble essentiellement sablo-gréseux à localement conglomératique dont l'épaisseur décroît d'environ 300 m au Nord à 150 m au Sud. Des intercalations de nombreuses croûtes ferrugineuses y sont mentionnées (Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.4. Le groupe de Cocobeach

Le groupe de Cocobeach daté du Néocomien au Barrémien, d'une épaisseur pouvant atteindre 6000 m, représente l'ensemble le plus puissant du Phanérozoïque gabonais, mais n'est connu à l'affleurement que dans le bassin intérieur. Il est divisé en un certain nombre de formations et membres dont certains points essentiels sont mentionnés par Chevallier *et al.*, (2002). Ce groupe est caractérisé par une lithologie définie par l'alternance de sédiments plus ou moins fins (grès à argiles) et plus ou moins carbonatés (argiles carbonatées, marnes, carbonates) (Chevallier *et al.*, 2002). Globalement, la période pré- à syn-rift se caractérise par la succession de trois stades qui sont le stade pré-rift groupe de l'Agoula et groupe de M'Vone, le stade syn-rift de la série de N'Dombo et le stade de l'épisode de surrection du

barrémien supérieur (Prian *et al.*, 2009a-b). Dans le Cocobeach, un bassin syn-à post-rift ainsi défini comprend une formation : N'Zémé Asso- Grès de la Remboué, et quatre groupes (Madiéla, Sibang, Anguille, et Mandji), dont le dernier est divisé en deux unités (Ikando et Ozouri-Animba-N'gola).

II.1.5. Le groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué

Le groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué est daté de l'aptien inférieur, d'une épaisseur estimée entre 50 et 200 m selon les secteurs (Chevallier *et al.*, 2002). Un trait caractéristique est la présence de conglomérats à galets de granitoïdes souvent décimétriques, voire pluridécimétriques, dont la taille diminue en s'éloignant du socle. Ces galets sont souvent anguleux, témoignant d'un transport presque nul (Chevallier *et al.*, 2002). Le groupe de N'Zémé Asso montre aussi un ensemble de faciès gréseux à silto-argileux et plus rarement marneux ou dolomitiques.

II.1.6. Le groupe de Madiéla

Le groupe de Madiéla, daté de l'Aptien supérieur à l'Albien, montre une épaisseur de sédiments qui pourrait atteindre 800 m, tandis qu'elle est inférieure à 500 m dans le bassin intérieur. La série montre une succession de calcaires et marnes, puis des faciès argilo-gréseux (régression) suivis d'un nouvel épisode calcaireux et marneux (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.7. Le groupe de Cap Lopez

Le groupe de Cap Lopez est daté du Cénomaniens, son épaisseur maximale varie de 400 à 500 m. Il est constitué de dépôt de faciès continentaux de grès dolomitiques à rare anhydrite et de niveaux de marnes, qui passent vers l'ouest à des dépôts de plateforme associant des argiles, silts et sables fins (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009 a-b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.8. Le groupe de Sibang

Le groupe de Sibang d'âge Turonien, d'épaisseur 500 à 600 m fait suite au groupe du Cap Lopez. Les faciès les plus abondants sont des calcaires marins témoignant d'une transgression, mais que ponctue un intervalle gréseux attribué à une phase régressive (Chevallier *et al.*, 2002). Vers la bordure et du Bassin Atlantique méridional (Bassin Sud), Chevallier *et al.*, (2002) attribuent au groupe de Sibang des occurrences de sédiments continentaux (argiles, grès argileux ou siliceux, croûtes ferrugineuses, grès kaoliniques à rares lits de conglomérats) réputés turoniens, isolées au du Groupe de Madiéla (Arnould, 1966). Ce groupe proche de Libreville a fait l'objet d'un prélèvement dans des zones non habitées (espaces verts). Le groupe de Sibang reposant sur celui du Cap Lopez serait le lieu d'un échange des matériaux minéraux.

II.1.9. Le groupe d'Anguille

Le groupe d'Anguille daté du Campanien au Maastrichien, est d'une épaisseur estimée entre 100 et plus de 1000 m selon les secteurs, il fait suite au Groupe de Sibang. Ce groupe montre l'association de faciès variés, surtout détritiques (argiles, silts, sables) et localement carbonatés (marno-calcaires) (Thomas *et al.*, (2001), Prian *et al.*, (2009 a-b), Chevallier *et al.*, (2002).

II.1.10. Le Groupe d'Ikando

Le Groupe d'Ikando d'âge Paléocène, d'une épaisseur de 200 à 300 m est caractérisé par des dépôts marins argileux (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009 a-b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.11. Le Groupe d'Ozouri, Animba et N'Gola

Le Groupe d'Ozouri, Animba et N'Gola recouvert par les formations du groupe d'Ikando, sont d'âge Paléocène supérieur à Eocène supérieur, mais la lithologie du Bassin Atlantique est caractérisée par les argiles, la silicification et les dolomies (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009 a-b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.12. Le Groupe d'Alewana

Le Groupe d'Alewana, d'âge Oligocène supérieur à Pléistocène, est caractérisé par les formations de Akosso, N'Tchengué, M'Béga et Mandorové (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009 a-b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.13. Le Groupe des Cirques

Le Groupe des Cirques d'âge Pliocène-Pléistocène est caractérisé par les sables arkosiques, des grès argileux et des argiles kaoliniques (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009 a-b ; Chevallier *et al.*, 2002).

II.1.14. Le Groupe des Alluvions Ogoouée

Le Groupe des Alluvions Ogoouée d'âge Pléistocène à Holocène, est caractérisé par des sables et des sables argileux (Thomas *et al.*, 2001 ; Prian *et al.*, 2009 a-b ; Chevallier *et al.*, 2002). Suivant la notice explicative de la carte géologique du Gabon au 1/1 000 000 (Thiéblemont *et al.*, 2009), les formations phanérozoïques sédimentaires sont dans la **figure II.1.**

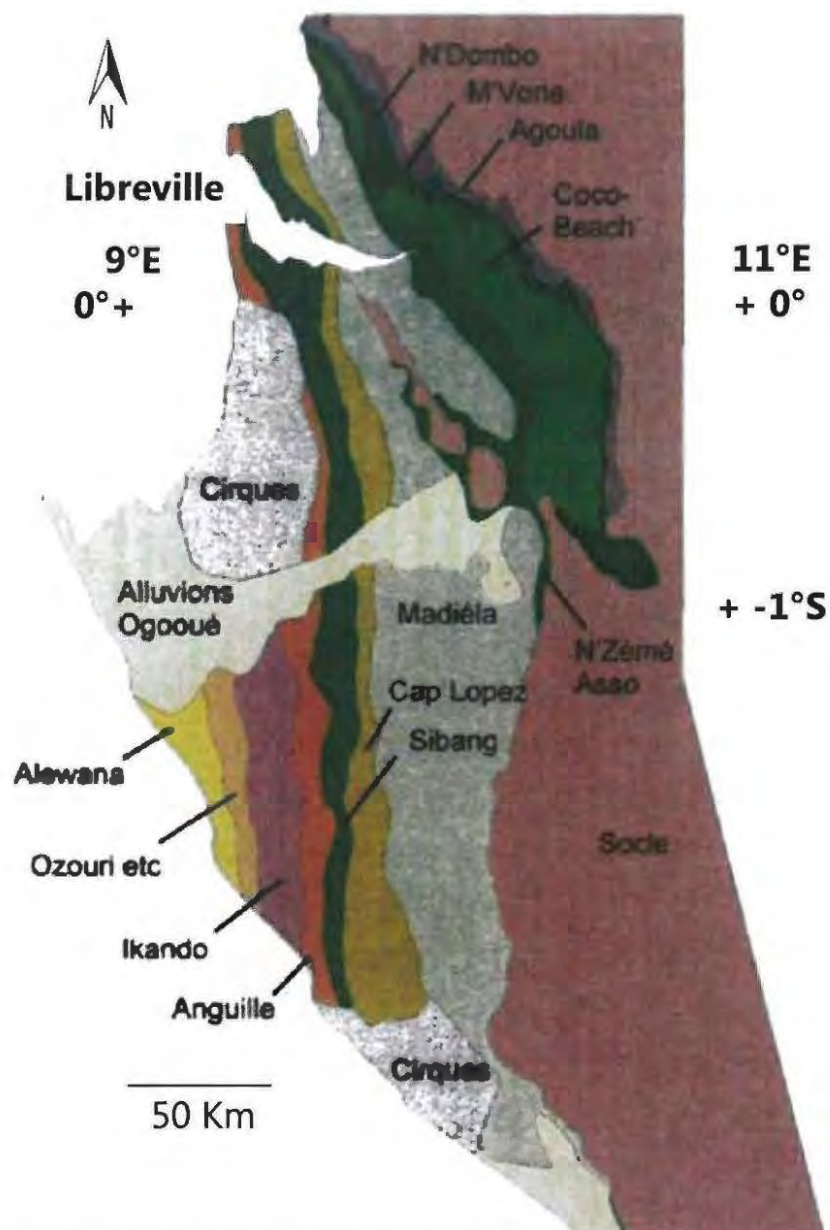


Figure II.1 : Les groupes géologiques du bassin côtier Gabonais (Thiéblemont *et al.*, 2009)

II.2. Les formations géologiques du bassin côtier dans la région de Libreville aux temps phanérozoïques

Libreville est une ville côtière de l'océan Atlantique située à la latitude 0°23'24" Nord et à la longitude 9°27'15" Est (Lasserre, 1958), située dans le bassin sédimentaire du Gabon (Chevallier *et al.*, 2002). La recherche d'hydrocarbures a promu de nombreuses études sur les séries sédimentaires du Gabon (Teissereng et Villemmin, 1990 ; Seranne *et al.*, 1992 ; Guiraud et Maurin, 1991). Le bassin côtier caractérisé par le phanérozoïque (550 à 350 Ma) regroupe un ensemble de dépôts continentaux et marins allant du Permien au Crétacé inférieur (Mbina et Guiraud, 2009 ; Thomas *et al.*, 2001). Ces formations comptent des dépôts d'âge crétacé inférieur à éocène, déposés sur la marge atlantique à l'issue du rifting et qualifiés de *post-rift*. Un ensemble associant une brèche polygénique dit *stone line* et le groupe des alluvions sableuses à limoneuses. La géologie du bassin intérieur a été largement actualisée à l'occasion de la levée des cartes de Lambaréné (Pian *et al.*, 2009a-b) et de Kango (Nagel *et al.*, 2009a-b), révélant de multiples séries argileuses, dont les potentialités industrielles sont nombreuses. La région de Libreville est située dans le bassin sédimentaire côtier du Gabon, précisément dans le bassin intérieur (Chevallier *et al.*, 2002) qui est séparé des bassins atlantiques oriental et occidental par le horst de Lambaréné. Selon la notice de la carte géologique du Gabon au 1/1.000.000, les formations sédimentaires de Libreville et de la bande affleurant à l'Est et au Nord-Est correspondent à trois groupe sédimentologiques : le groupe sablo-gréseux fin à localement conglomératique de N'Dombo (Prian *et al.*, 2009a-b) ; le groupe de Cocobeach à alternance de sédiments diversement fins (grès à argiles) (Seranne *et al.*, (1992) et le groupe de N'Zémé Asso dit « grès de la Rembouée » montrant un ensemble de faciès gréseux à silto-argileux (Chevallier *et al.*, 2002 ; Prian *et al.*, 2009a-b). Les formations du groupe de Cocobeach reposent sur le groupe de N'Dombo constitué d'une alternance de sables et de grès fins. Elles affleurent abondamment et sont constituées d'argiles grises à vertes, de grès fins alternant avec les argiles (Figure II.2).

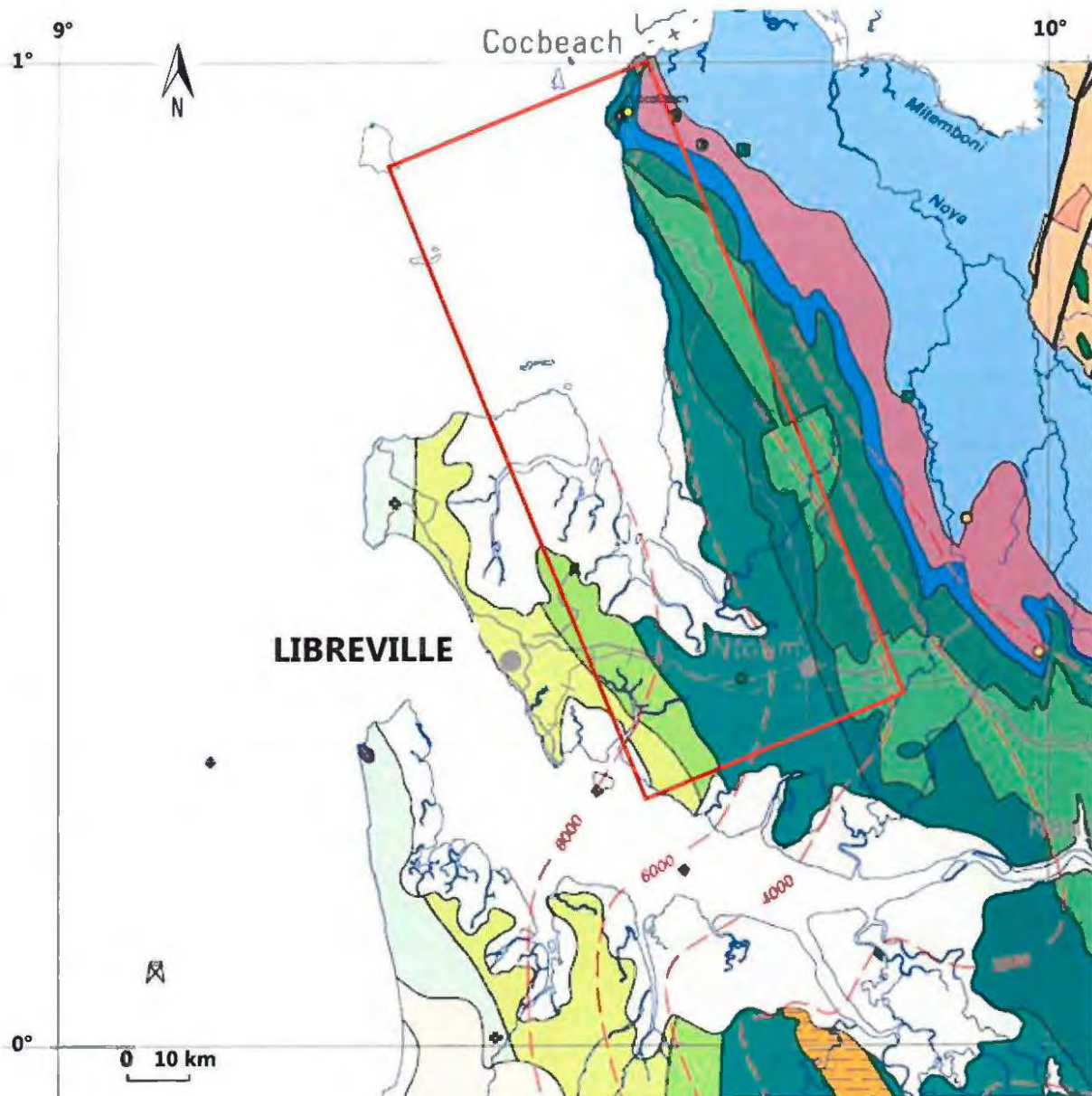




Figure II.2 : Extrait de la carte géologique du Gabon des formations géologiques du bassin côtier dans la région de Libreville et ses environs aux temps phanérozoïques présentant la zone de prélèvement des argiles en rectangle rouge

II.3. Les formations géologiques du synclinal de la Nyanga dans la Région de Tchibanga aux temps phanérozoïques

Les gites de talc de la Nyanga se situent dans le district de Mourindi à 54 kilomètres environ au nord de la ville de Tchibanga (de la province de la Nyanga). On y accède par une piste forestière reliant Mourindi à Doussala. Le synclinal de la Nyanga est la portion terminale

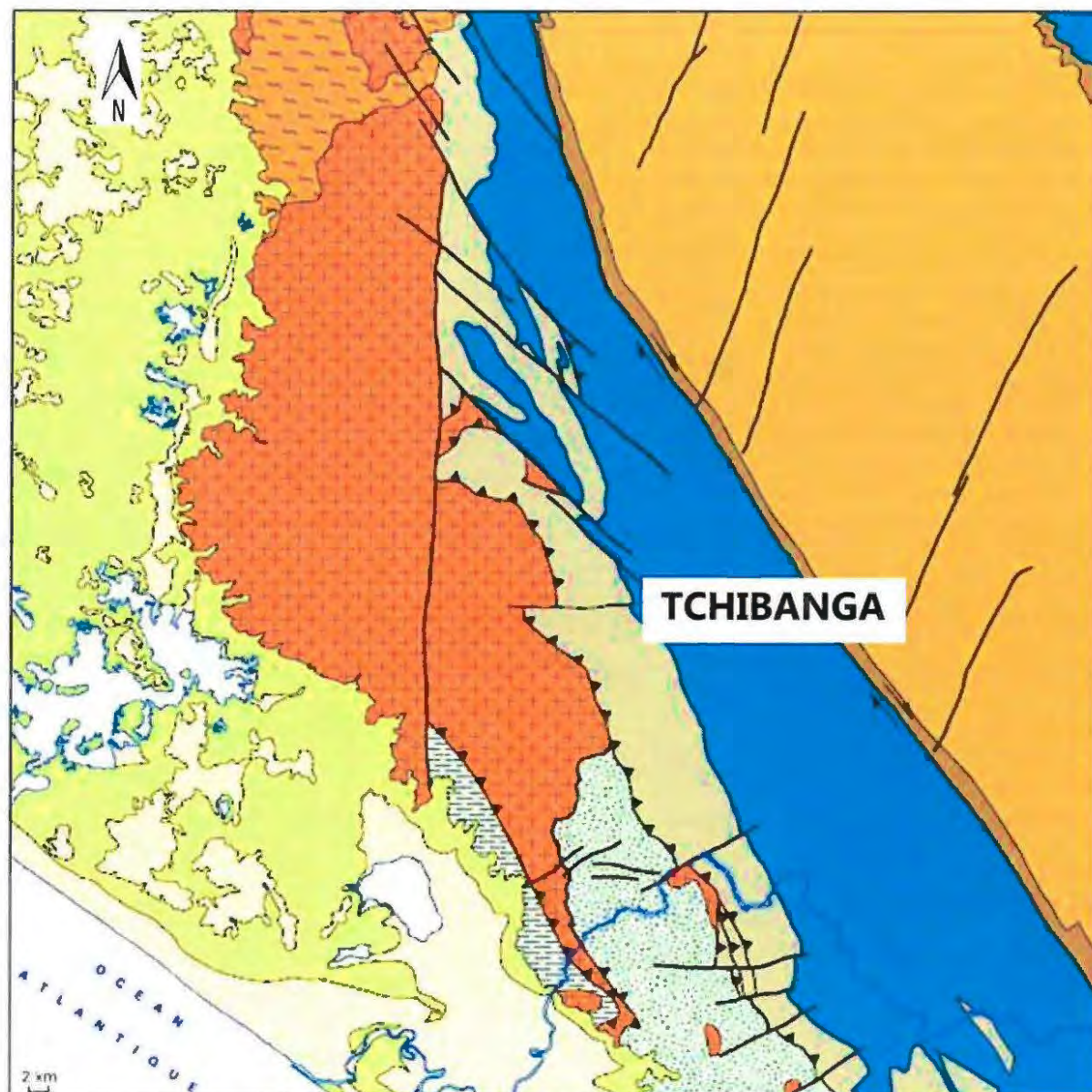
Nord d'un vaste bassin sédimentaire précambrien qui s'étend de l'Angola au Gabon. Sur le flanc SW de ce synclinorium, les couches sont intensément plissées alors que le flanc NE (où se trouvent les principaux gîtes de talc reconnus) apparaît presque non déformé et non métamorphisé. La minéralisation à talc découverte dans ce synclinorium existe à l'échelle régionale sur les deux flancs du synclinal. Cependant, les conditions de gisements sont variables d'un versant à un autre. Cette minéralisation forme un niveau assez constant sur plusieurs centaines de kilomètre et est souvent masquée par une couverture latéritique. Elle est interstratifiée par des minces couches de talcschistes dans la partie supérieure du groupe schisto-calcaire (NSC3) qui fait partie du super groupe de l'ouest Congo. Les toutes premières indications de l'existence d'un gisement de talc dans la région de Tchibanga datent des années 40 par les travaux de prospection réalisés par [Lissillour et Barras \(1948\)](#) qui mentionnent l'existence de stéatite. Un peu plus tard dans les années 50, [Bigotte et al., \(1957\)](#), mentionnent du talc au Congo puis émettent l'hypothèse d'une origine sédimentaire. Les recherches focalisées sur le talc du bassin de la Nyanga débutent avec l'impulsion des travaux réalisés par [Bellivier \(1977\)](#), sur le flanc nord-est près de Ndendé, démontrant l'existence d'amas en volume économiques mais de qualité moyenne. [Boutin \(1979\)](#), entame une prospection intense sur les zones les mieux situées pour l'évacuation soit le flanc sud-ouest. A partir de 1981, les travaux se sont focalisés sur les aspects minéralurgiques et en particulier le blanchiment. Nous pouvons noter que la fin des travaux pour la dite période est dans la synthèse de [Boutin \(1985\)](#). Dans le vaste synclinorium de la Nyanga, le niveau de talc se situe dans la partie supérieure de la succession Schisto-calcaire, [Bellivier \(1977\)](#). Il est présent en continu, mais masqué par une couverture latéritique, sur une longueur cumulée de 600 km et sur une largeur de un à quelques kilomètres. Il est ici intéressant de signaler que sur le plan économique et du fait de la présence de deux types de gîtes, la nécessité de différencier la partie proche de la surface (jusqu'à des profondeurs de 10 à 30 m) qui du fait de la dissolution de la dolomie par altérations supergènes présente un potentiel économique plus intéressant que celui de la partie non altérée sous-jacente. Les deux types de gîtes sont définis comme suit :

- Les gîtes primaires ou le talc, en lits millimétriques à centimétriques, est inséré entre les bancs de dolomie donnant des couches d'épaisseur millimétrique à décimétrique.
- Les gisements secondaires ou le talc est le résidu principal de l'altération de l'empilement dolomitico-talqueux primaire, suite à la disparition par dissolution de la dolomie.

Du talc est mentionné dans des puis de recherche de bauxite près de Ndendé, des larges affleurements sont observés sur les entailles d'une piste près de Ndendé ([Boutin et al., 2001](#)). L'immense étendue du gisement est aussi démontrée dans le même document, sur la partie nord du synclinal et aussi à Mourindi sur le flanc ouest. Sur le plan minéralogique pour les mêmes auteurs, la composition minéralogique moyenne de gîte est déterminée sur le bassin de la Nyanga pour les études plus poussées pour le seul cas de Mourindi à 61,9 % de talc, 24,3 % de quartz, 10,1 % de kaolinite pour un pourcentage de chlorite presque inexistant.

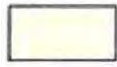
Le talc de la Nyanga, est reconnu de manière continue sur tout le pourtour de la structure synclinale, suggérant une origine sédimentaire ou diagénétique ([Martini et Makanga, 2001](#)) dont les groupes de formations archéens à quaternaire caractéristiques sont dans la [figure II.3](#). Suivant les synthèses de [Boutin \(1985\)](#), ils nous est choisis de nous pencher sur la

caractérisation minéralogique des phases cardinales des gites talcschistes des zones superficielles et accessibles motivées par la construction du pont sur la Banio à Mayumba et la perspective de la réalisation du port de Mayumba en eau profonde pour l'acheminement des produits de service vers l'extérieur du pays.



Légende

Quaternaire

 Formations meubles pléistocènes à holocènes, dépôts éoliens et alluvions

Crétacé

 Aptien sup. à Albien inf., séries marines post-rift

Néoprotérozoïque

 Groupe schisto-gréseux, grès supérieurs

 Groupe schisto-gréseux, argilites et siltites

 Groupe schisto-calcaire indifférencié

 Groupe détritique supérieur du Mayombe

 Groupe détritique basal du Mayombe

 Groupe métamorphique basal du Mayombe

Paléoprotérozoïque

 Granites éburnéens (1988 - 2055 Ma)

Archéen

 Socle archéen, gneiss et migmatites

Eléments linéaires

 Faille majeure

 Faille chevauchante

 Décrochement dextre

Figure II.3 : Extrait de la carte géologique du Gabon des formations géologiques du synclinal de la Nyanga dans la région de Tchibanga

II.4. Les sols des régions du Gabon

Le Gabon est soumis à un climat équatorial chaud et humide, avec une forte pluviométrie (moyenne annuelle de l'ordre de 2 000 mm), et une température avoisinant toujours 25° C. La pluviosité est maximale en octobre et novembre, mois pendant lesquels il est fréquent d'enregistrer des précipitations journalières de 100 mm et plus. Il n'existe aucun mois rigoureusement sec. L'humidité moyenne, très forte, se situe autour de 85 %. Les pluies sont réparties suivant un régime de mousson, à deux saisons déterminées par le déplacement du front intertropical, (F.I.T.) (Muller, 1972) dont les illustrations se trouvent en figure II.4.1.

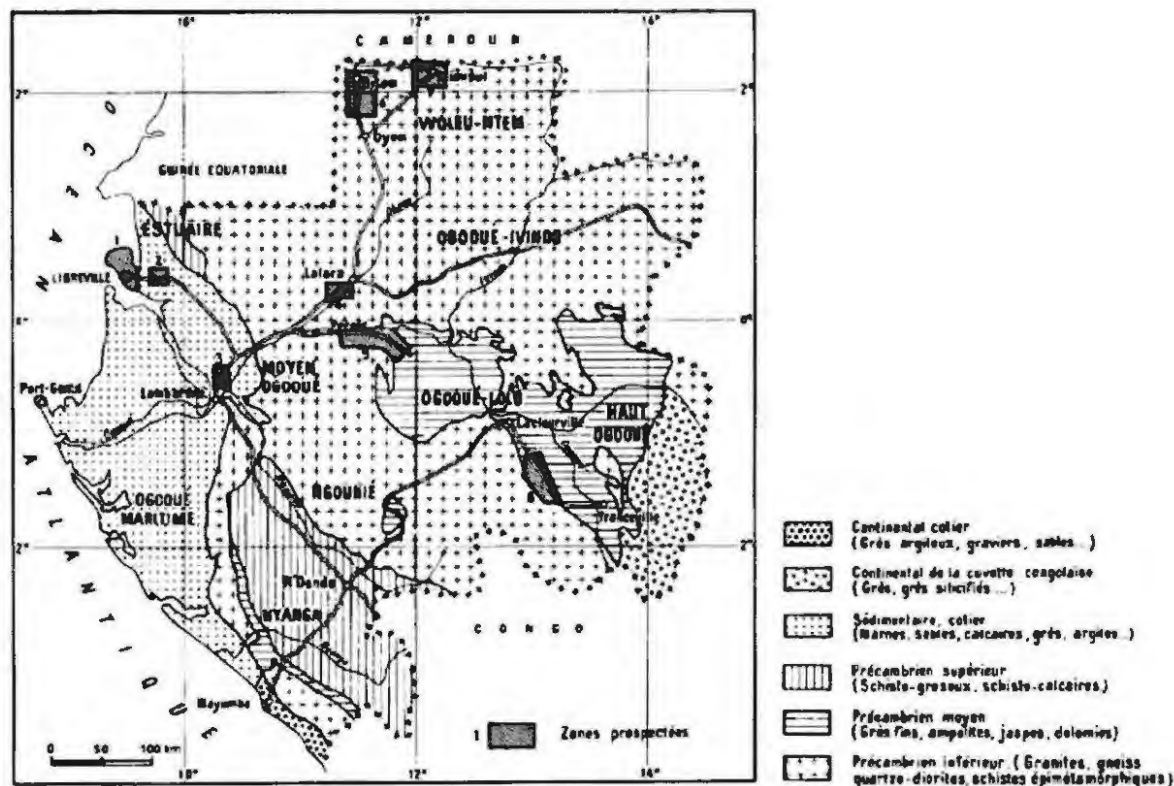


Figure II.4.1 : Esquisse géologique des sols des régions du Gabon (Muller, 1972)

Pour le même auteur, la partie des sols concernée est celle dont la variation du taux d'argile est examinée en détail. Ce sont donc des apexols qui sont présentés ici ; ils sont observés jusqu'à la profondeur de 150 cm. Tous possèdent un structichron dépassant cette limite. Provenant de différentes régions du Gabon dans lesquelles les conditions lithologiques et géomorphologiques sont fort différentes, les sols étudiés présentent une grande variété dans leurs caractères typologiques. En fonction des caractères liés à l'appauvrissement, huit types de sols sont synthétiquement décrits (Muller, 1972). Cette liste n'est, bien sûr, pas exhaustive, le but de l'étude n'étant pas de faire un inventaire de tous les types de sols appauvris mais plutôt de montrer qu'ils présentent des morphologies très variées. Les types des sols (0 ; 1 ; 2 ; 3 ; 4 ; 5 ; 6 ; 7 ; 8 et 9) sont définis comme suit :

Type 0

(type de référence - sol typique) : Appumite prononcé peu développé (5 cm), nuciclude. Structichron dyscrophe (25 cm), homogène, angucloide parorthique. Structichron jaune, argileux, kaolinique et ferroxique, pauciclude.

Type 1

Appumite prononcé peu développé, nuciclode. Appumite faible, homogène, sablo-argileux, intergrade amérode-nuciclode, transition nette. Structichron dyscrophe très hétérogène, développé (100 cm), argilo-sableux, anguclode parorthique grossier puis moyen (parfois argillique ?). Structichron jaune, argileux kaolinique et ferroxique, anguclode parorthique plus fin.

Type 2

Appumite prononcé peu développé, nuciclode. Appumite faible, homogène, sablo-argileux, intergrade amérode-nuciclode, transition nette. Structichron dyscrophe très hétérogène, développé (100 cm), argilo-sableux, anguclode parorthique grossier puis moyen (parfois argillique ?). Structichron jaune, argileux kaolinique et ferroxique, anguclode parorthique plus fin. Appumite prononcé, peu développé, nuciclode. Appumite faible développé (30 cm), hétérogène (taches), sablo-argileux, psammoclode puis amérode. Structichron dyscrophe développé* (70 cm), hétérogène peu net puis très hétérogène, argilosableux, anguclode - parorthique moyen puis grossier. Structichron, jaune, argileux, kaolinique et ferroxique, anguclode parorthique plus fin puis pauciclode.

Type 3

Appumite prononcé, peu développé nuciclode. Appumite faible, peu développé, homogène, argilosableux, intergrade anguclode parorthique amérode. Structichron dyscrophe, homogène, argilo-sableux, anguclode parorthique. Structichron jaune, argileux, kaolinique et ferroxique, pauciclode.

Type 4

Appumite prononcé développé (30 cm) nuciclode puis intergrade amérode-nuciclode. Structichron dyscrophe, homogène, argile-sableux, anguclode parorthique. Structichron jaune, argileux, kaolinique et ferroxique, pauciclode.

Type 5

Appumite prononcé, peu développé, nuciclode. Appumite faible développé (30 cm), hétérogène (taches), sablo-argileux, psammoclode puis amérode. Structichron dyscrophe, homogène, argilosableux, anguclode parorthique. Structichron jaune, argileux, kaolinique et ferroxique, anguclode parorthique plus fin puis pauciclode.

Type 6

Appumite prononcé, peu développé, nuciclode. Appumite faible, homogène, sabla-argileux, psammoclode ou amérode, transition nette. Structichron jaune, argilo-sableux puis argileux, kaolinique et ferroxique, pauciclode.

Type 7

Appumite prononcé développé (10 cm), grumoclode et particulaire, puis amérode. Appumite faible développé (25 cm), hétérogène (taches), sableux, psammoclode, transition diffuse. Structichron dyscrophe, aléatoire, hétérogène (taches), sabloargileux, psammoclode. Structichron jaune, sabloargileux, kaolinique et ferroxique, amérode, pauciclode par place.

Type 8

Idem type 7.

Structichron jaune, sableux, kaolinique et ferroxique, psammoclode.

La figure II.2.2 représente schématiquement les exemples correspondant aux types morphologiques recensés.

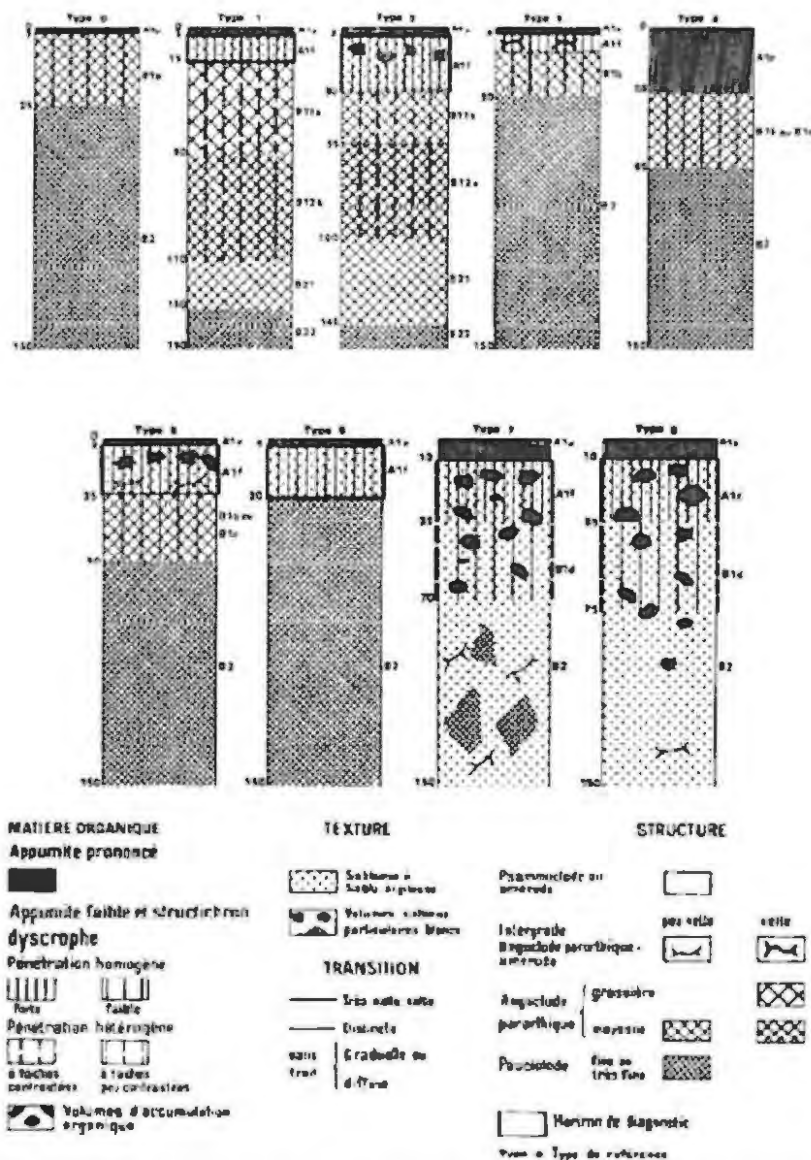


Figure II.4.2 : Représentation schématique d'exemples correspondant aux types morphologiques des sols recensés (Muller, 1972)

Conclusion

Au Gabon, les formations phanérozoïques du Crétacé et du Francevillien (Précambrien moyen) contenant des grès, des dépôts sableux à argileux (marnes) à faciès variables, des pélites et ampélites, sont des matériaux qui une fois valorisés présenteraient un atout pour les populations gabonaises.

Chapitre III : Matériels et méthodes

Introduction

Les méthodes d'analyse ont pour ambition de déterminer la composition minéralogique, chimique, texturale et fonctionnelle d'un échantillon. Elles existent depuis longtemps mais ont considérablement progressé depuis le développement de l'informatique et de l'électronique. Aux temps modernes, les méthodes d'analyse sont beaucoup plus accessibles grâce à des logiciels fonctionnels donnant des informations directement exploitables par des personnes non spécialistes. Les argiles nécessitent l'association de plusieurs techniques pour leur caractérisation. Les rapports centésimaux des constituants majeurs (concentration supérieure à 0,1%) tels que SiO_2 ; Al_2O_3 ; TiO_2 ; Fe_2O_3 ; K_2O ; Na_2O ; MgO ; CaO peuvent varier dans des proportions considérables. Alors, toute méthode générale d'analyse est difficilement applicable à la grande diversité de produits alumino-silicates issus du sol. Les traces ou les faibles quantités inférieure à 0,1% présentes dans ces minéraux (Ni, Cu, Cs, Zn, les sulfates et les chlorures), nécessitent des techniques analytiques appropriées, suffisamment spécifiques et directes pour interférer directement entre elles (Debras *et al.*, 1962). Ces auteurs montrent les méthodes classiques et de nombreuses techniques modernes d'analyse, dont certaines ont été mises au point dans les cinq dernières années au Centre National d'Etudes et de Recherches Céramiques. Huit méthodes physico-chimiques d'analyse des argiles ont été utilisées afin de caractériser au mieux nos matériaux, en faisant une rétrospective au préalable des travaux réalisés sur le terrain.

III.2. Matériels et Méthodes d'Analyse au Laboratoire

III.2.1. Diffractions des Rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (DRX) sert à identifier les phases cristallisées, donc la minéralogie des produits et éventuellement à en analyser le degré de cristallinité (Delineau, 1994). Elle est utilisée de façon préférentielle dans la caractérisation minéralogique d'un matériau argileux (Brindley et Brown, 1980). Les phases amorphes ou très mal cristallisées comme certains hydroxydes de fer naturellement présents dans les argiles ne sont pas observables par cette méthode.

III.2.1.1. Principe de la diffraction des rayons X

Les rayons X sont diffusés sans perte d'énergie par des particules de la matière chargée électriquement et, principalement, par les électrons. Dans les solides cristallins, où les particules sont disposées de façon périodique, la quantité de rayonnement diffusé n'est importante que dans les directions pour lesquelles les rayons diffusés sont en phase. On dit alors qu'il y a diffraction.

L'observation d'un rayonnement diffracté est donc soumise à des conditions relatives à l'existence d'interférences constructives ou cohérentes. La loi de Bragg établit la condition essentielle à la diffraction, soient deux rayons diffusés par un cristal sont en phase et

s'additionnent si la différence entre leurs chemins parcourus au sein du cristal est égale à n fois, ou n est le nombre entier. Lorsqu'une réflexion est observée, l'équidistance réticulaire correspondante est donnée par la loi de Bragg :

$$2 d.\sin\theta = n\lambda$$

Avec

θ : l'angle de réflexion ;

λ : la longueur d'onde du rayonnement utilisé ;

d : la distance réticulaire entre deux plans atomiques adjacents d'une même famille ;

n : l'ordre de réflexion.

Cette relation permet, à partir des valeurs de l'angle d'incidence, de déterminer les équidistances des différentes familles de plans caractéristiques du matériau analysé. Les imperfections de la périodicité peuvent cependant limiter l'étendue des domaines diffractant en phase.

IV.2.1.2. Conditions expérimentales

Les deux méthodes d'investigation par diffraction des rayons X (DRX) les plus utilisées dans les laboratoires d'analyses permettent de déterminer qualitativement et / ou quantitativement les minéraux argileux qui sont les suivants: Kaolinites, Illites, Smectites, Chlorites, et Talc.

1) La première méthode, consiste en l'analyse d'une poudre totale sèche et désorientée. Elle permet l'identification qualitative des minéraux présents.

2) La deuxième méthode consiste à l'analyse de la fraction argileuse (fraction inférieure à 2 μm) extraite du matériau et préparée sous forme d'agrégats orientés. Cette analyse permet une bonne estimation qualitative et semi-quantitative des divers composants argileux en petites quantités, dont les raies seraient masquées, par les autres composants abondants. Pour ce travail, les mesures de diffraction X ont été effectuées sur la roche totale et sur lame orientée.

Il s'agit pour cette partie de la procédure de séparation de la fraction inférieure à 4 μm de la roche totale afin de préparer les lames orientées. La séparation de la fraction inférieure à 4 μm de la roche totale est suivie de la façon suivante :

- Une fois le culot dispersé et passé aux ultrasons, le verser dans un becher de 150 mL ;
- Compléter jusqu'à 150 mL d'eau distillée et agiter pendant 30 minutes ;
- Arrêter l'agitation et retirer les barreaux magnétiques ;
- Lancer le chronomètre pour la sédimentation ;
- Après 30 minutes, prélever les trois premiers centimètres correspondant à la fraction des particules de taille inférieure à 4 μm (Loi de Stokes).

La procédure de préparation des lames orientées est la suivante :

- Mettre la suspension dans des pots de centrifugation et centrifuger à 19 000 tours/minute pendant 30 minutes ;
- Vider le surnageant, ajouter quelques gouttes d'eau ultra-pure pour disperser le culot jusqu'à obtenir de la pâte ;

- Etaler cette pâte sur trois lames accolées dont les coins ont été enlevés en utilisant la plus grande surface possible ;
- Laisser sécher les lames à température ambiante ;
- Une des trois lames ne subit aucun traitement ;
- Sur les trois lames, la deuxième est saturée à l'éthylène glycol sous forme de vapeur pendant 12 heures ;
- La troisième subit un traitement thermique pendant 4 heures avec une montée de température de 5°C/minutes et une descente libre.

En somme, il est important de procéder à la décarbonatation et au rinçage de nos échantillons lorsque nous avons des matières organiques et ou des carbonates dans nos échantillons préalablement détectés en analyse en DRX sur poudre désorientée. La procédure de décarbonatation serait la suivante :

- Préparer une solution d'HCL à 0,5 M ;
- Mettre environ 5 grammes de l'échantillon en poudre dans un becher d'au moins 100 ml ;
- Dissoudre dans de l'eau distillée ;
- Mettre en agitation avec une sonde pH-métrique ;
- Ajouter le HCl goutte à goutte pour diminuer le pH jusqu'à 4 (attention à ne pas descendre plus bas) ;
- Attendre que le pH soit stabilisé à 4.

III.2.2. Spectrométrie Infrarouge à Transformée de Fourier (DRIFTS et transmission)

Pour cette étude, la spectrométrie IR est utilisée de façon complémentaire à la diffraction des rayons X comme outil d'analyse minéralogique. La diffraction des rayons X, sur un matériau argileux, permet de déterminer la nature des phases cristallisées. Les phases amorphes ou mal cristallisées ne sont pas observables par cette méthode. La spectrométrie infrarouge est sensible aux énergies de vibration des liaisons moléculaires. Elle constitue une méthode d'analyse des environnements locaux, quelque soit l'état physique du système étudié.

III.2.2.1. Principe de la spectrométrie infrarouge

Dans les Conditions Normales de Températures et de Pressions (CNTP), les atomes et groupements fonctionnels, constituant la matière, sont animés de mouvements vibratoires. Si ces constituants sont exposés à un rayonnement électromagnétique dont la fréquence est proche de celle de l'une ou l'autre de leurs vibrations propres, ils entrent en résonance, empruntant pour ce faire, de l'énergie dans le faisceau incident. Il y a alors absorption d'énergie. Sous l'effet d'un rayonnement électromagnétique infrarouge, les liaisons moléculaires absorbent une partie de cette énergie et vibrent selon des mouvements de différents types (vibrations d'élongation ou de déformation). Le domaine infrarouge, dans lequel se trouvent les énergies de vibration des liaisons moléculaires, est divisé en trois zones :

- proche infrarouge : $\lambda = 0,8 \text{ à } 2,5 \text{ } \mu\text{m}$ (ou $\nu = 4000 \text{ à } 12500 \text{ cm}^{-1}$)

- moyen infrarouge : $\lambda = 2,5 \text{ à } 25 \text{ }\mu\text{m}$ (ou $\nu = 400 \text{ à } 4000 \text{ cm}^{-1}$)
- lointain infrarouge : $\lambda = 25 \text{ à } 1000 \text{ }\mu\text{m}$ (ou $\nu = 10 \text{ à } 400 \text{ cm}^{-1}$)

III.2.2.1. Conditions expérimentales

La radiation pénètre à l'intérieur de l'échantillon, subit des effets de réflexion, réfraction, diffusion et absorption puis est réémise dans toutes les directions d'un espace hémisphérique. Les spectres d'absorption ont été réalisés dans le domaine du moyen infrarouge, correspondant à des nombres d'ondes ($\nu=1/\lambda$) compris entre 400 cm^{-1} et 4000 cm^{-1} .

III.2.3. Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB ou SEM pour Scanning Electron Microscopy en anglais) est une technique de microscopie électronique fondée sur le principe des interactions électrons-matière, capable de produire des images de la surface d'un échantillon. Le principe est de balayer la surface par un faisceau d'électrons, en réponse, l'échantillon réémet certaines particules détectables qui, analysées par différents détecteurs donnent une image tridimensionnelle de la surface. Aujourd'hui, la microscopie électronique à balayage est utilisée dans des domaines allant de la biologie aux sciences des matériaux et un grand nombre de constructeurs proposent des appareils de série équipés de détecteurs d'électrons secondaires, d'électrons rétrodiffusés et d'émission de photons avec une résolution se situant entre 0.4 et 20 nanomètres.

III.2.3.1. Principe général

La résolution (capacité à distinguer deux points) de l'œil humain avec un microscope photonique est limitée par la longueur d'onde de la lumière visible (photons) ainsi que par la qualité des lentilles grandissantes. Les meilleurs microscopes photoniques distinguent des détails de $0.1 \text{ à } 0.2 \text{ }\mu\text{m}^3$. Pour observer des détails plus fins, il faut diminuer la longueur d'onde qui éclaire les cibles. Dans le cas des microscopes électroniques, on met en œuvre des électrons, dont les longueurs d'ondes associées sont beaucoup plus faibles. L'interaction entre le faisceau et l'échantillon produit des électrons secondaires, de basse énergie qui, accélérés et collectés par un détecteur adéquat, produisent une image d'électrons secondaires. La production d'électrons secondaires est directement liée au pouvoir réémissif de la surface, donc de son angle d'exposition au rayonnement, elle rend donc compte de la morphologie. Les électrons rétrodiffusés sont issus de chocs élastiques, ils rendent compte des contrastes de densités. Il est enfin possible de procéder à des analyses élémentaires locales en exploitant diversement les spectres de fluorescence d'émission-X et les images correspondantes. La résolution analytique est de quelques micromètres cube. A chaque point d'impact correspond un signal électronique. La sonde électronique exploite une source constituée par un « canon à électrons » le rayonnement issu de cette source est diversement diaphragmé et focalisé par des lentilles électromagnétiques » qui jouent le même rôle vis-à-vis du faisceau d'électrons que des lentilles conventionnelles, vis à vis de la lumière visible dans un microscope photonique. Des bobines disposées selon les deux axes perpendiculaires à l'axe du faisceau et parcourues

par des courants synchronisés permettent de soumettre l'échantillon à un balayage du même type que celui de la télévision, l'échantillon peut être déplacé dans les trois directions de l'espace. L'ensemble travaille sous vide car les électrons sont arrêtés par les molécules atmosphériques. Toutes les images sont maintenant enregistrées sous forme numérique.



Figure III.2.3 : Microscope Electronique à Balayage moderne dans les locaux de l'UHP Vandœuvre-lès-Nancy 2012

III.2.4. Capacité d'Echange Cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique d'une argile est la quantité de cations qui peut être fixée à sa surface pour annuler sa charge négative, en principe à pH 7. Cette charge est en fait composée de trois termes, la charge structurale résiduelle, la charge résultant des dissociations amphotériques de surface et une charge résultant de la non stœchiométrie des faces. Elle s'exprime en moles d'équivalents (*Me*) pour 1 kilogramme de matière sèche. Un milliéquivalent (*még*) équivaut à la charge d'une millimole de cation adsorbé. Dans le système international, cette unité est remplacée par le $\text{mol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ($100 \text{ meq} / 100\text{g} = 1 \text{ mol} \cdot \text{kg}^{-1}$). Par type d'argile, les ordres de grandeur de la CEC (*en Me / Kg*) sont les suivants (Bardon, 1983) : Kaolinite : 3 à 10 ; Illite : 10 à 40 ; Smectite 80 à 120.

La mesure est effectuée par permutation par le cation cobalt hexammonium, en application de la méthode proposée par Mantin et Glaezer (1960). L'échantillon est mis à l'équilibre avec une solution de chlorure de cobalt hexamine de titre connu, après équilibre, la solution est titrée et la quantité adsorbée déduite de mesures colorimétriques par la méthode des restes. Le mélange est agité pendant 2 heures à la température constante de 30°C puis centrifugé à 19000 tours par minute pendant 1 h pour 0,3 g. Dans le cas de la technique utilisée, la formule reliant l'absorbance mesurée au maximum de la bande à 473 nm (bande d'absorption maximale du cobalt) et la CEC est la suivante : $CEC = (C_i - C_f) \cdot (V/M) \cdot 100$.

Avec

CEC en Me/Kg d'échantillon

C_i = concentration initiale exprimée en normalité = 0.05 M ;

C_f = absorbance à 473 nm ;

V = volume de solution en mL ;

M = masse d'échantillon en grammes.

III.2.5. Granulométrie par diffusion Laser

III.2.5.1. Principe

La mesure de la distribution granulaire est réalisée par diffusion laser à l'aide du granulomètre Malven Mastersizer MS 20 qui analyse les distributions granulaires entre 0,1 et 600 μm . La méthode repose sur la théorie de la diffusion de Mie. Dans le cas de sphères lisses, une approximation satisfaisante permet de relier l'angle de diffraction θ au diamètre d des particules et à la longueur d'onde λ du faisceau :

$$\sin\theta = \frac{1,22 \times \lambda}{d}$$

L'abondance des particules dans une classe de taille donnée est déduite du nombre de photons détectés à l'angle de diffraction correspondant. Le faisceau Laser de faible intensité (2 mW) et de longueur d'onde 633 nm traverse la suspension à analyser dans une cellule à circulation. Les courbes de distribution sont exprimées en fonction du diamètre du disque de surface égale

à la surface projetée de la particule diffusante. Les distributions sont présentées, d'une part sous la forme d'une courbe portant en ordonnée le pourcentage volumétrique d'inférieurs à d et en abscisse logarithmique, la dimension des particules, et d'autre part d'un tableau correspondant à 32 classes granulaires. La feuille de résultats donne également directement les mailles correspondant à 90, 50 et 10% de passants (respectivement d_{90} , d_{50} et d_{10}).

III.2.5.2. Conditions expérimentales

Les suspensions sont préparées à partir de la fraction granulaire inférieure à 250 μm des matières premières. Les mesures sont effectuées après divers temps de passages aux ultrasons (0, 1, 2, minutes) et les valeurs des d_{90} , d_{50} et d_{10} retenus sont à l'optimum de dispersion par sonication.

III.2.6. Analyse Chimique

Les analyses chimiques permettent de connaître la composition du matériau, de déterminer, d'une part les impuretés et les oxydes naturellement associés, et d'autre part la nature des cations interfoliaires. L'analyse chimique a été réalisée sur la roche totale. Les pourcentages en masse des éléments majeurs constitutifs du matériau (Si, Al, Fe, Mn, Mg, Na, Ca, K, Ti, P), la perte au feu ainsi que la teneur des éléments traces (Ba, Be, Co, Cr, Cu, Ga, Nb, Ni, Rb, Sc, Sr, Th, V, Y, Zn, Zr, etc.) ont été déterminés par spectrométrie d'émission. L'appareil utilisé est un quantomètre Jobin-Yvon 70-P équipé d'un plasma ICP-AES (Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectroscopy) pour les éléments majeurs et d'un Perkin Elmer Elan 5000 équipé d'un plasma ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Mass Spectroscopy) pour les traces. Les quantités mesurées sont exprimées en pourcentage d'oxyde par rapport au poids de l'échantillon pris à 110°C pour les majeurs, tandis que les traces sont exprimées en partie par million (ppm) d'éléments par rapport à la masse de l'échantillon à 110°C. L'incertitude relative de l'analyse quantométrique avoisine 1 % à répartir proportionnellement entre les teneurs de chaque oxyde ; pour les traces, elle est de 5 % sur les valeurs supérieures à 100 ppm, de 10% au voisinage de 50 ppm et peut atteindre 50 % pour 10 ppm et moins. Le soufre total (S_{total}) a été analysé par coulométrie. Le résultat est exprimé en pourcentage par rapport à la masse de l'échantillon à 110°C, avec une incertitude relative de 0,3 %. L'eau d'hydratation, noté H_2O^- et qui disparaît entre 25°C et 105°C, est déterminée par thermogravimétrie. Les valeurs sont données à 5 % près. L'eau de constitution, notée H_2O^+ , est dosée par oxydoréduction (méthode Karl Fisher) et correspond à la perte d'eau entre 110°C et 1100°C. L'erreur absolue est de l'ordre de 0,3 % et prend en compte l'incertitude sur la mesure du poids de l'échantillon après étuvage à 110°C. L'ensemble de ces analyses a été réalisé dans les Laboratoires de Spectrochimie et de Chimie du Service d'Analyse des Roches et Minéraux du Centre de Recherche Pétrographique et de Géochimie (CRPG) à Vandoeuvre - lès - Nancy.

III.2.7. Analyses Thermiques (ATD-ATG)

L'analyse thermique a pour objectif la caractérisation des produits et matériaux par l'étude de leurs propriétés physiques ou changements d'état en fonction de la température et du temps. Le principe de toute analyse thermique est défini en distinguant les éléments suivants : l'enceinte et son programmeur qui permettent de chauffer l'échantillon selon une loi requise ; le capteur mesurant la propriété recherchée ; les périphériques, capteur de température, acquisition, traitement et stockage de l'information. Les différentes techniques d'analyse thermique sont la calorimétrie, l'Analyse Thermique Différentielle (A.T.D. ou D.T.A. en anglais) et la thermogravimétrie.

III.2.7.1. Analyse thermique différentielle (ATD)

L'Analyse Thermique Différentielle (ATD) permet, comme la calorimétrie, d'étudier les transformations internes des échantillons ou les réactions de l'échantillon avec l'extérieur. L'ATD mesure la différence de température entre une substance et un matériau de référence en fonction de la température quand ils sont chauffés dans les mêmes conditions. Comme résultat, on reçoit une information énergétique sur l'échantillon qui renseigne sur les réactions de l'échantillon avec le milieu environnant mais aussi sur ses transformations structurales internes. En absence de réaction ou de transformation, l'écart de température est faible et régulier : c'est la ligne de base. Lorsqu'une transformation de l'échantillon actif intervient, elle met en jeu une quantité d'énergie et sa température s'écarte alors de celle du témoin. La température différentielle ΔT est enregistrée sous forme d'un pic ou d'une succession de pics en fonction du temps.

III.2.7.2. L'analyse Thermogravimétrique

La plupart des phénomènes physiques, chimiques ou physico-chimiques se caractérisent par des variations de masse des échantillons réactifs lorsqu'ils subissent un changement de température. La thermogravimétrie repose sur la mesure et l'enregistrement de la variation de masse de l'échantillon au cours de son chauffage suivant ici, une loi de chauffe linéaire entre l'ambiante et 1070°C. La thermo balance permet de porter un solide à des températures déterminées, en enregistrant les variations de masse en fonction du temps. On dispose de 3 variables, la masse m , le temps t et la température θ . Habituellement, on trace des courbes soit à température constante, soit en faisant varier la température linéairement en fonction du temps. Dans le cas le plus simple, on exploite la variation de masse accompagnant les transformations d'un composé donné en fonction de la température.

III.2.8. Surface spécifique

La surface spécifique est la surface développée par l'unité de masse d'un solide. L'isotherme d'adsorption/désorption d'un gaz constitue un outil privilégié pour l'étude des propriétés texturales des solides, les différentes surfaces et les différentes porosités.

III.2.8.1. Principe

Lorsqu'une substance gazeuse est au voisinage d'une surface solide, sa concentration augmente au voisinage de l'interface. Les molécules en surface n'ont pas le même environnement qu'au sein du solide. Ce phénomène s'appelle l'adsorption, le solide l'adsorbant et la phase gazeuse l'adsorbat. Si l'échantillon est poreux, les molécules de gaz se condensent dans les pores dont la taille est supérieure au diamètre cinétique de l'adsorbat. La pression de condensation du gaz dans le pore dépend de l'adsorbat, de la taille et de la forme des pores. Inversement, pour une taille de pore donnée, le mécanisme d'adsorption est fonction de l'adsorbat. L'azote est le gaz généralement utilisé dans les études de texture.

III.2.8.2. Détermination de la surface spécifique

La transformée dite "BET" de la partie basse pression de l'isotherme d'adsorption (Brunauer *et al.*) est la méthode la plus commune d'évaluation de la surface spécifique d'un matériau. En considérant l'adsorption réversible, les surfaces homogènes l'absence d'interaction entre molécules adsorbées et le fait qu'une couche peut être formée avant la complétion de la précédente, elle propose une linéarisation de l'équation de l'isotherme, dont on déduit le volume (V_m) nécessaire à former une monocouche ; compte tenu de l'encombrement de la molécule d'azote, la surface spécifique vaut alors $4,37 V_m$, en admettant un encombrement moléculaire de $16,26 \text{ \AA}^2$ et si l'on exprime V_m en cm^3/g . De même, $S_s = 3,71 V_m$, dans le cas de l'argon à 77K, en admettant un encombrement moléculaire de $13,80 \text{ \AA}^2$.

III.2.8.3. Techniques expérimentales

Dans le cadre de ce travail, deux adsorbats (azote et argon) ont été utilisés pour construire les isothermes d'adsorption. Les propriétés texturales et énergétiques superficielles des échantillons sont caractérisées par volumétrie discontinue et ou de quasi-équilibre d'adsorption d'azote et d'argon à 77K. Les surfaces spécifiques sont calculées en considérant des encombrements moyens de $0,162 \text{ nm}^2$ pour l'azote et $0,138 \text{ nm}^2$ pour l'argon. Dans le cas de solides micro ou méso-poreux, il existe diverses façons de déterminer les volumes poreux, les quantités adsorbées, données dans les conditions Normales de Pression et de Température, peuvent être converties en volume liquide en considérant la densité de l'azote liquide égale à 0,808 et celle de l'argon liquide à 1,427.

III.2.9. Cuisson

Avant d'être cuite, l'argile doit-être bien sèche. Lors de la cuisson des argiles dans le four, la montée en température est tout d'abord lente, environ 100°C par heure durant 5 heures, pour éliminer progressivement l'eau de constitution de l'argile et éviter l'éclatement des pièces. Cette première cuisson se poursuit ensuite à pleine puissance jusqu'à 900°C . Une seconde cuisson peut être nécessaire pour fixer d'éventuels émaux. La température à atteindre est celle

de la fusion de 700 à 1300°C. Elle ne doit jamais dépasser la température de maturation de l'argile qui subit tout d'abord des déformations, puis fond au-delà. Le défournement a lieu lorsque l'émail est en fusion, vers 900-1000°C, à l'aide d'une longue pince et de protections thermiques. Le choc thermique fait craqueler l'émail.

III.3. Méthodes Contextuelles de Valorisation des matériaux minéraux des Argiles de Libreville et du Talc de Tchibanga

III.3.1. Méthodes de prélèvement d'échantillon sur le terrain

Les méthodes d'évaluation d'un gisement d'argile sont plus qu'importantes pour ce qui est de ce travail. Dans l'environnement, les méthodes d'évaluation des gisements de carrières sont communes aux argiles. Ainsi, nous devons tenir compte d'un certain nombre d'aspects comprenant l'épaisseur de recouvrement, l'épaisseur de la latérite, le rapport latérite sur recouvrement, cubage de recouvrement et celui de la latérite. Aussi, il est nécessaire de réaliser des ouvertures (des layons), réaliser des sondages afin d'optimiser les paramètres précités caractéristiques d'un gisement de carrière. Le prélèvement d'échantillons à certains endroits de Libreville et de ses environs est réalisé à l'aide de la tarière manuelle dont le mode de fonctionnement sur le terrain est décrit dans la figure III.3.1.



Figure III.3.1: Technique de prélèvement d'échantillon d'argiles à l'aide de la tarière manuelle

Les échantillons de sol de Libreville et de Tchibanga ont été prélevés sur 10 sites comportant 22 échantillons. Le mode de prélèvement (Nombre de sites, localisation par GPS, nombre d'échantillons, données descriptives d'affleurement...). exploite les informations

topographiques et géologiques disponibles dans la littérature (Legros, 1996 ; Frontier, 1997 ; Webster et Olivier, 2001).

III.3.2. Procédés et Matériel utilisé dans la caractérisation des argiles de Libreville et le talc de la Nyanga au Laboratoire

Les échantillons d'argiles et de talc sont séchés à l'étuve à 60°C pendant 24 heures, broyés à 600 micromètres, conditionnés en sacs plastiques dûment référencés. La fraction fine est utilisée pour les analyses microscopiques au laboratoire. Les distributions granulaires entre 0,1 et 600 µm sont déterminées par diffusion laser. On a retenu les mailles correspondant à 90%, 50% et 10% de passant, respectivement les d_{90} , d_{50} et d_{10} . Les analyses chimiques des éléments majeurs en roche totale, SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , Na_2O , Ca_2O , K_2O , TiO_2 et P_2O_5 ; sont effectuées, par ICP-AES. Les quantités mesurées sont exprimées en pourcentages d'oxydes par rapport à la masse de l'échantillon à 110°C. La détermination minéralogique en roche totale repose sur des analyses par diffraction-X de poudres désorientées et de préparations orientées de la fraction inférieure à 2 µm, laquelle est notamment traitée à l'éthylène glycol, chauffée à 550°C afin de qualifier les phases argileuses (Libreville). La spectroscopie infrarouge est effectuée en réflexion diffuse entre 600 et 4000 cm^{-1} . Les matériaux argileux sont caractérisés à l'aide des fréquences de vibrations de leurs groupements fonctionnels (Farmer, 1974). La microscopie électronique à balayage donne accès à des images en électrons secondaires, des images en électrons rétrodiffusés et des spectres de fluorescence d'émission (EDS). On a aussi caractérisé les matières par analyse thermique, les courbes révèlent notamment des paliers permettant de quantifier les différents types d'eau (Mackenzie, 1957). En spectroscopie infrarouge, les matières sont caractérisées par des pics des bandes spécifiques de spectre associé. La reconnaissance se fait suivant les modèles de l'identification des principaux minéraux argileux mentionnés par Van Olphen et Fripiat, (1979). Le calcul de la composition modale des différents minéraux se fait suivant le modèle multi-linéaire développé par (Njopowouo, 1984 ; Yvon *et al.*, 1990) qui repose sur l'expression suivante :

$$T(a) = \sum_1^n Mi \times Pi(a)$$

Avec :

$T(a)$ = Teneur (%) en élément « a » dans le matériau,

Mi = teneur (%) en minéral « i » dans le matériau

$Pi(a)$ = proportion de l'élément « a » dans le minéral « i ».

III.4. Développement d'un modèle de reconstitution par calcul manuel en pourcentage des oxydes des phases monominérales

L'objectif principal est celui de la reconstitution par calcul manuel des pourcentages des oxydes des minéraux contenus dans un échantillon de roche donné à partir des résultats des

analyses chimiques sur roche totale de l'échantillon considéré. Dans le but de prévoir la paragenèse des minéraux secondaires, accessoires et traces. Les résultats des pourcentages en teneurs massiques des matériaux monominéraux des argiles et talc, nous permettent de reconstituer les pourcentages approximatifs des oxydes des phases minérales caractéristiques afin de prévoir la paragenèse des minéraux par leur représentation dans un diagramme triangulaire dans lequel les feldspaths sont presque inexistantes (Nicollet, 2010). Les champs de composition des principales roches sédimentaires (pélites ou carbonates) et leurs minéraux paragenétiques peuvent être représentés dans le diagramme ACF-A'KF (Kornprobst, 2001). Cette représentation est assurée à partir des formules structurales décomposées des phases minérales selon (Kretz, 1983 ; Fettes et Desmons, 2007). Les pourcentages des teneurs massiques des phases minérales des matériaux des argiles et talc sont ici des volumes des roches échantillons. Dans chaque échantillon, la détermination des pourcentages des oxydes monominéraux dans les différents matériaux nous permet de les utiliser suivant les pôles des triangles ACF-A'KF (Nicollet, 2010) représentés comme suit :

- Pour le triangle ACF on a $A = (Al_2O_3 + Fe_2O_3) - (Na_2O + K_2O)$; $C = CaO - 3,3P_2O_5$;
 $F = FeO + MgO + MnO - TiO_2$;
- Pour le triangle A'KF on a $A' = (Al_2O_3 + Fe_2O_3) - (Na_2O + K_2O + CaO)$; $K = K_2O$;
 $F = FeO + MgO + MnO - TiO_2$.

Ainsi une démarche simple permettant de déterminer les pourcentages des oxydes des phases monominérales à partir des teneurs en pourcentages des phases minérales caractérisées et calculées dans les matériaux (échantillons) des argiles et talcschistes de Libreville et Tchibanga peut se résumer en quinze étapes :

- *Etape 1 : Consiste à connaître toutes les phases minérales présentes dans l'échantillon identifiées en DRX ;*
- *Etape 2 : Connaître les teneurs des phases minérales calculées ;*
- *Etape 3 : Connaître les pourcentages des phases minérales non identifiées qualifiées de Autres ;*
- *Etape 4 : Diviser le pourcentage de Autres par le nombre des phases minérales cardinales présentes dans l'échantillon sauf le quartz car déjà en excès ;*
- *Etape 5 : Ajouter le résultat obtenu à l'étape (4) à chaque phase minérale cardinale du matériau ;*
- *Etape 6 : Diviser le pourcentage en teneur massique (étape 5) de chaque phase minéralogique par 100 ;*
- *Etape 7 : Décomposer les phases minérales en leurs différents oxydes caractéristiques en tenant compte de différents coefficients stœchiométriques ;*
- *Etape 8 : Multiplier le résultat obtenu à l'étape (6) par chaque coefficient stœchiométrique des oxydes caractéristiques des phases minérales successives du matériau (échantillon) considéré ;*
- *Etape 9 : Multiplier le résultat obtenu à l'étape (8) par les masses molaires des oxydes de base afin de déterminer les masses molaires des oxydes dans les phases minérales considérées soient les volumes occupés par les oxydes dans ces phases ;*
- *Etape 10 : Calculer les masses molaires élémentaires des oxydes des phases minérales considérées à partir des résultats obtenus à l'étape (9) ;*

- Etape 11 : Calculer les masses molaires totales des phases minérales considérées à partir des masses molaires de leurs oxydes élémentaires obtenus à l'étape (10) ;
- Etape 12 : Additionner les masses molaires des phases minérales élémentaires du matériau (échantillon) qui est ici la masse molaire totale de l'échantillon donc dans chaque série (PK14, PK24 et MKA1) pour la contextualisation;
- Etape 13 : Additionner les masses molaires élémentaires des oxydes identiques calculées dans l'ensemble des phases minérales du matériau (échantillon) voir étape (10);
- Etape 14 : Redéfinir les pourcentages élémentaires des oxydes identiques totaux par rapport à l'échantillon considéré suivant l'expression suivante :

$$\% (xi) = \frac{M(xi)}{M(E)} \times 100$$

Avec

xi : l'oxyde identique élémentaire dans le matériau (échantillon) ;

$M (xi)$: Masse molaire élémentaire de l'oxyde identique dans le matériau en $g.mol^{-1}$;

$M(E)$: Masse molaire totale dans le matériau (échantillon) en $g.mol^{-1}$;

E : Echantillon (Matériau minéraux) ;

- Etape 15 : Déterminer les pourcentages des oxydes dans chaque phase minérale cardinale considérée du matériau (échantillon) selon l'équation suivante :

$$\% (yi) = \frac{M(yi) \times \% (xi)}{M(xi)}$$

Avec

$M (yi)$: Masse molaire de l'oxyde considéré dans la phase minérale du matériau (échantillon) ;

$\% (xi)$: Pourcentage total de l'oxyde identique élémentaire considéré dans le matériau (échantillon) ;

yi : oxyde de la phase minérale considérée dans le matériau (échantillon).

Donc :

$$\% (yi) = \frac{M(yi)}{M(E)} \times 100$$

A ces quinze étapes, nous déterminons la proportion des oxydes des phases argileuses réelles suivant le pourcentage des oxydes des résultats des analyses chimique sur roche totale.

Dans cette démarche nous considérons les pourcentages en teneurs massiques calculés comme facteurs inférieurs à 100% pour chaque phase minérale dans l'échantillon. Les teneurs massiques en pourcentage des phases minérales doivent être inférieur à 100% sinon, on penserait à un échantillon qui aurait dans toute sa composition que le seul minéral caractéristique considéré pour un échantillon qui ne comporterait même pas des éléments traces dans le cortège des résultats des analyses chimiques.

La seconde procédure consiste à contextualiser les oxydes calculés pour déterminer les oxydes réels correspondants aux analyses chimiques obtenus en laboratoire. Les démarches de cette seconde procédure sont les suivantes :

- a) Rassembler les oxydes identiques calculés à la première procédure dans l'échantillon considéré ;
- b) Additionner les oxydes rassemblés en a) (Σy_i) ;
- c) Faire correspondre les résultats du b) à l'oxyde correspondant dans les résultats de l'analyse chimique (c'est la contextualisation des oxydes totaux identiques dans l'échantillon) (C_{oxyt}) ;
- d) Prendre l'oxyde correspondant de la phase minérale (y_i) qui correspondrait à l'inconnu (D_{oxym}) par rapport aux résultats des analyses chimiques dans la démarche de c) ;
- e) Tirons de c), la correspondance de d) qui représenterait à la part d'oxyde du minéral considéré dans les résultats des analyses chimiques (D_{oxym}) ;
- f) Dans la procédure en c), considérons à 100% l'oxyde correspondant dans les résultats des analyses chimiques (C_{oxyt}) ;
- g) Déterminons le pourcentage de l'oxyde de la phase en procédure e) qui est le pourcentage de l'oxyde contextualisé dans l'échantillon (D_{oxym}) de la phase minérale dans lequel l'oxyde est tiré ;
- h) La procédure appliquée pour déterminer le pourcentage g) (D_{oxym}) en considérant le pourcentage de l'oxyde total considéré (C_{oxyt}) dans les résultats des analyses chimiques qui est à 100% et l'oxyde en e) (D_{oxym}) pour lequel on recherche son pourcentage ;
- i) En somme, le pourcentage de l'oxyde e) (D_{oxym}) est le résultat final de nos deux procédures.

Donc le pourcentage de (D_{oxym}) pour la phase minérale dans le matériau minéraux de l'échantillon est $D_{oxym} \%$ en supposant les autres phases minéralogiques qui pourraient avoir dans leurs structures des atomes de l'oxyde considéré comme négligeables. Ainsi, le modèle est défini comme suit :

$$D_{oxym} = \frac{y_i \times C_{oxyt}}{\Sigma y_i}$$

D_{oxym} = oxyde de la phase minérale calculée contextualisé dans les résultats des analyses chimiques ;

y_i : oxyde de la phase minérale considérée dans le matériau (échantillon) ;

C_{oxyt} : oxyde correspondant dans les résultats des analyses chimiques ;

Σy_i : Somme des oxydes identiques calculés dans le matériau (échantillon).

Conclusion

Les méthodes analytiques présentées ici montrent combien il est important de s'en inspirer afin d'être en phase avec les résultats des analyses des matériaux minéraux argileux et talc de Libreville et Tchibanga. La démarche développée nous permettant de reconstituer les oxydes

des phases monominérales est très importante lorsque nous voulons, par exemple, placer dans un diagramme des phases minérales les minéraux qui ne sont pas purs et qu'en l'état, il n'y a pas eu d'analyses nous permettant de quantifier les oxydes pour chaque minéral dans un échantillon. Cette méthode peut être une illustration pour des enseignants qui voudraient bien apprendre aux étudiants voir même aux lycéens des séries scientifiques comment reconstituer les oxydes de phases monominérales d'un échantillon à partir des pourcentages en teneurs massiques disponibles. Ce calcul se fait aisément lorsqu'on connaît la formule chimique de base du minéral considéré.

Chapitre IV : Inventaire des gisements d'argiles au Gabon et leurs utilisations

Introduction

L'utilisation des matériaux en argiles au Gabon remonte à l'époque coloniale, dans les années 50 Oursin *et al.*, (1966). Une mission céramique en 1963 composée de dirigeants de la Société Française de Céramique (SFC) a fait le tour des pays de l'Union Douanière et Economique de l'Afrique Centrale (UDEAC) afin de dresser un bilan des activités céramiques et de juger de l'opportunité d'une réalisation industrielle. La mission relève cependant la nécessité de procéder à l'étude systématique et précise de ces gisements, à une détermination spécifique des caractéristiques de la matière et à une sélection des différentes qualités existantes, avant de pouvoir déterminer et fixer avec plus de précision les possibilités de production. Il semble que ce soit seulement dans quelques rares pays que l'on ait depuis lors entrepris de nouvelles recherches destinées à permettre le lancement dans un proche avenir d'une fabrication de produits céramiques. Au Lycée technique national Omar Bongo existait depuis 1960 environ un atelier de céramique d'art qui fonctionnait correctement jusqu'en 1965 environ. Cet atelier qui utilisait les argiles locales importait aussi quelques matières premières d'Europe. Quelques études de matières premières concluaient alors à la bonne aptitude des argiles à la cuisson. Toutefois la consommation locale était alors insuffisante pour justifier d'une réalisation industrielle de grande envergure. Les seuils de rentabilités n'étaient pas atteints. Cette mission conseillait la création d'un atelier pilote tel qu'on le propose dans le domaine de la vaisselle et des objets d'art. Les difficultés de trouver à l'époque des investisseurs et la concurrence avec le projet de construction d'une cimenterie à Libreville ont empêché sa réalisation. Pour les mêmes auteurs, la fabrication des produits céramiques, fait intervenir différentes sortes d'argiles, ainsi que du kaolin, du feldspath, de la silice, de la craie, du talc, de la dolomie... etc. Une étude entreprise en 1963 par la S.F.C. (Société Française de Céramique) dans les pays de l'UDEAC, a prouvé que, dans tous les pays, il existe, au voisinage des grands centres urbains, des matériaux qui peuvent servir à fabriquer des produits céramiques. C'est ainsi qu'au Cameroun, on trouve, en beaucoup d'endroits, une qualité d'argiles cuisant relativement blanc, ainsi que des sables kaoliniques. Elle signale, au Congo/B différentes qualités d'argiles (gisement Piat) ; au Gabon, des gisements de stéatite (pierre de M'Bigou) ; en RCA (République Centre Africaine) existent certaines qualités de kaolin ; au Tchad, des gisements de kaolin. Il ne reste de ce projet qu'un rapport de présentation et un rapport technique qu'il sera bon de réutiliser si l'on envisage une réalisation industrielle. Aux environs de 1970 une équipe allemande s'est à nouveau intéressée à la brique. Il ne reste que peu de traces de leur passage, si ce n'est un terrain défriché aux environs de Kougouleu lieu qui avait été prévu pour implanter la carrière et de l'usine situé dans l'Estuaire au département du Komo. Il n'est pas exagéré de dire que les argiles sont importantes par leurs multiples utilisations aussi bien au Gabon qu'ailleurs dans la fabrication des briques et tuiles en terres crues et cuites pour ne parler que de la céramique. Dans le rapport de mission LBV- Mouila- Lambaréné (1984), au Gabon, des gisements à potentiels applicatifs existent découverts par la prospection tactile, ont été d'une importance

capitale sans les avoir caractérisés. La liste ci-dessous fait ressortir le récapitulatif des gisements recensés (1963-1970) :

- Argiles à briques du lac Zilé sur la route Lambaréné Tchibanga dans la zone d'Agro-Gabon à Kérie ;
- Argiles à briques aux environs de Libreville
- Argiles, anciens four à briques (Mouila Route Saint Martin) sur la piste reliant Mouila à la Mission Saint Martin, au Nord-Ouest de l'Aéroport ;
- Gisement d'ancien four à briques, piste de Saint Martin Nord – Ouest de l'aéroport ;
- Gisement du Débarcadère de grume de Leroy – Gabon ; en bordure de la Ngounié vers l'Est.
- Gisement de Rembo et Rembo Sud (Route de Yeno), piste Mouila – Yeno au PK8.

IV.1. Unités de transformations des argiles au Gabon et types des matériaux utilisés dans Libreville et ses environs

Au Gabon et précisément dans la capitale Libreville, des PMI-PME produisent des matériaux de construction à base d'argile. Un tout-venant matériaux de la fraction superficielle de sol est habituellement considéré par les unités de transformations des argiles au Gabon comme aptes à l'élaboration de produits de terre crue et cuite à briques, tuiles, sculptures et pâte à modeler. Pas très connues des populations, il existe dans notre capitale quelques unités de transformation de l'argile. Les PMI dans lesquelles se retrouvent ces unités ne sont pas toujours spécialisées dans la production de matériaux argileux, mais les proposent aux plus nécessaires. Pour des raisons de commodité, deux unités de fabrication de briques et tuiles ont été visitées à savoir l'Unité de Nzeng-Ayong et celle de la Société Ralph et Kevin construction.

IV.1.1. Unité de fabrication de briques crues stabilisées dans le 6^{ème} arrondissement de Libreville à Nzeng-Ayong

Dans le 6^{ème} arrondissement de Libreville à Nzeng-Ayong dans la zone de fin goudron, se trouve une unité de fabrication de briques de terre crue stabilisée. Elle s'est équipée d'un matériel de production, composé de machines automatiques et semi-automatiques parmi lesquelles on recense des broyeurs, des malaxeurs, des doseurs, des pondeuses et un ensemble de tapis permettant d'acheminer la matière d'une machine à l'autre. La matière utilisée est un matériau tout-venant, composé des gravillons et de ce qu'ils appellent de « la terre simple », regroupant le reste des plantes et la fraction fine des sols (Figure IV.1.1.1). Dans le processus de fabrication des briques crues de Nzeng-Ayong, le broyeur réduit la fraction grossière en celle plus fine possible du matériau tout-venant. Un premier produit plus fin présente une texture homogène. Un dosseur permet de vérifier les quantités de matières entrant dans le processus de mélange du ciment et de l'argile pour une quantité correspondant aux règles établies par l'unité productrice qui restent cependant confidentielles. Le malaxeur permet d'homogénéiser le mélange de matière, il brasse le mélange composé de ciment, d'argile et d'eau. L'ambition est d'obtenir une pâte plastique et homogène, ou une poudre adéquate selon

le produit à façonner. Cela nécessite diverses opérations qui diffèrent quelque peu selon le matériau de départ et l'estimation de la plasticité de la pâte désirée (molle, demi-ferme, ferme), la pâte sort homogène du malaxeur. Cette pâte est envoyée vers la presse et la pondeuse pour donner une certaine forme à une portion du mélange : c'est la brique (Figure IV.1.1.2). Une machine automatique facilite le processus sans intervention humaine. Les tapis conduisent la matière d'une machine à l'autre et, en bout de chaîne, trois briques sortent de la pondeuse et sèchent à l'air libre. Un moule manuel fonctionne sous pression d'un homme. Le principe est de verser une quantité de matériau sortant du malaxeur et d'exercer une pression sur un levier pour former la brique que l'on sort juste après (Figure IV.1.1.3). L'usine de fabrication de briques de terre de Nzeng-Ayong, est une unité bien équipée pour produire des matériaux de construction. Elle est particulièrement spécialisée dans la fabrication de briques de terre stabilisée. Il leur manque les matériaux minéraux adaptés à l'optimisation et la qualité de la production des briques crues.

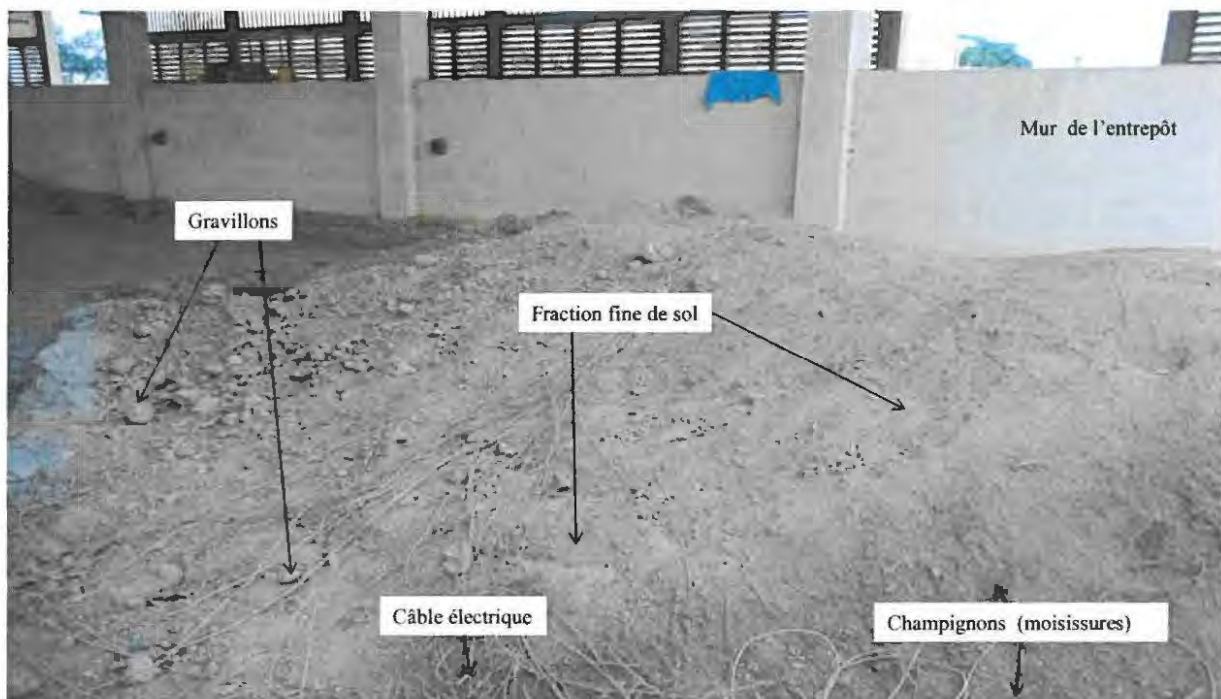


Figure IV.1.1.1 : Fraction de terre utilisée pour la fabrication des briques dans un entrepôt au quartier Nzeng Ayong-Fin goudron (2012)



Figure IV.1.1.2 : Appareillage utilisé pour la fabrication des briques crues de l'unité de fabrication des briques de Nzeng- Ayong composée de Broyeur automatique (A), Doseur (B) et Malaxeur semi-automatique (C)

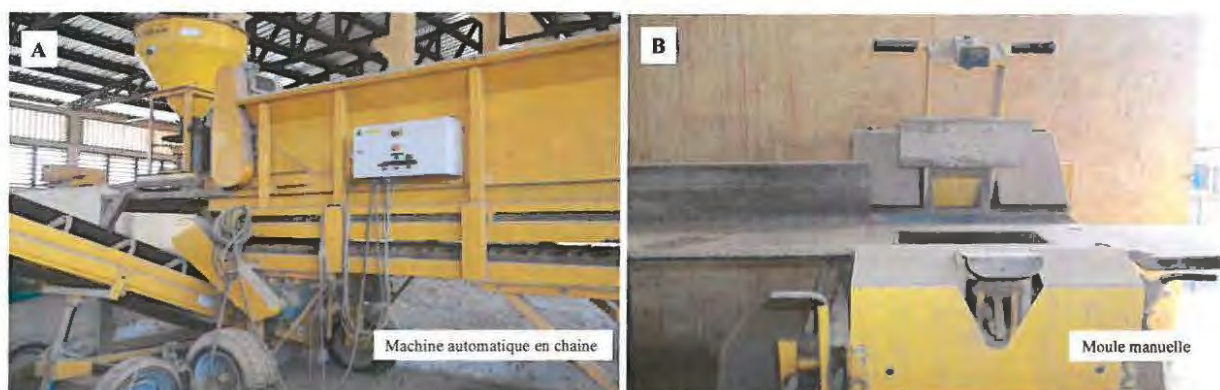


Figure IV.1.1.3 : Machine automatique en chaîne composée d'un doseur, d'un malaxeur et d'une pondeuse à 3 moules de briques (A) et moule manuel (B) de l'unité de fabrication de briques de Nzeng-Ayong

IV.1.2. Unité de fabrication Société Ralph et Kevin construction

Situé à Agondjé dans la commune d'Akanda, l'unité de fabrication Société Ralph et Kevin construction produit des pavés, tuiles et briques. Elle n'est pas spécialisée dans la production de matériaux à base d'argiles car selon un de ses responsables, elle ne souhaite pas utiliser des matériaux non caractérisés à la base. En revanche, les briques et tuiles sont élaborées à partir de ciment, latérite rouge, tout-venant argileux rouge à jaunâtre extraits de carrières de proximité (Figure IV.1.2.1). Equipée de machine semi-automatique, l'unité nécessite une présence humaine à chaque étape de fabrication (Figure IV.1.2.2).

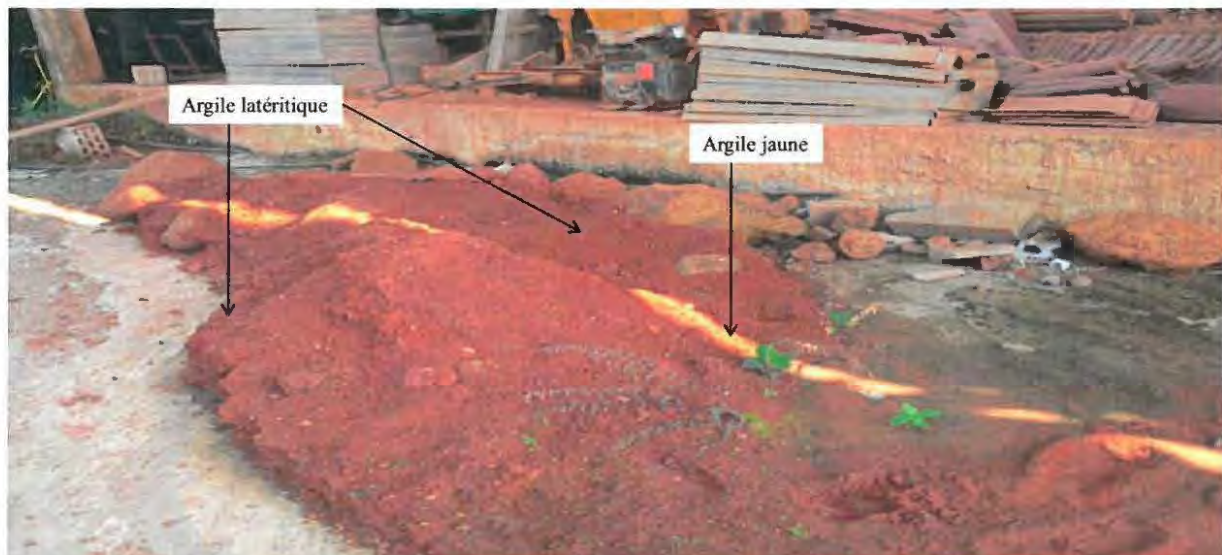


Figure IV.1.2.1 : Matériaux argilo-latéritiques en stock dans la cour de l'unité de fabrication de briques et tuiles de Société Ralph et Kevin construction d'Agondjé



Figure IV.1.2.2 : Equipement de machine semi-automatique et production de tuiles (A) et briques (B) de l'unité de fabrication de la Société Ralph et Kevin construction d'Agondjé

La particularité de cette unité est qu'elle mélange et conditionne l'argile, le ciment et l'eau dans une bétonnière. Les produits obtenus sont séchés à l'air libre, sans utiliser de séchoir. En plus des moules à briques elle utilise des moules à tuiles pour le même matériau contrairement à l'unité de Nzeng-Ayong qui ne produit que des briques. A Libreville, les unités de transformation d'argiles sont rares, peu sollicitées par les populations car peu spécialisées dans la production de matériaux à base d'argiles, faute de matières premières de qualité et mal connues du grand public. Les techniques mises en œuvre pour produire des briques et des tuiles ne sont pas très traditionnelles mais permettent de garder dans la ville des traces ancestrales. Les produits finis résistent diversement aux intempéries car la variation est fonction d'ajout ou non de ciment aux matériaux argileux. Le ciment augmente la durabilité des produits, par moindre sensibilité aux agents climatiques.

IV.2. Briques Crues au Gabon

Les produits de briques et tuiles à base d'argiles proposés par des PME - PMI gabonaises de Libreville, sont crus. Parmi ces produits, les unités de transformations d'argiles de Nzeng-Ayong et de la société Ralph et Kevin construction, nous proposent des briques crues représentées en figure IV.2.1.

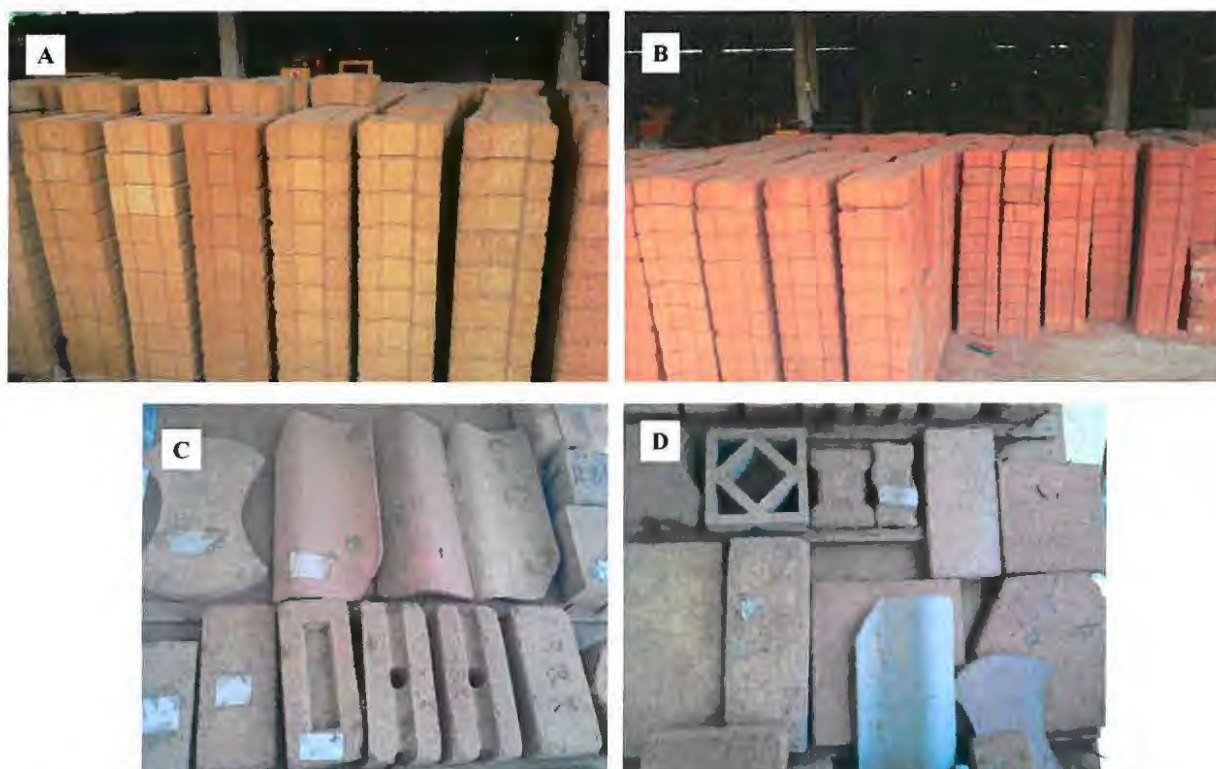


Figure IV.2.1 : Briques crues (A et B), tuiles et pavés (C et D) des unités de production d'Angondjé

La procédure utilisée pour la fabrication des briques crues dans les PME – PMI gabonaise répond au schéma suivant :

- Trouver une terre qui n'est pas trop argileuse ;
- La faire sécher dans un entrepôt ;

- La faire passer au broyeur automatique pour obtenir un produit bien raffiné ;
- La poudre est mise dans un doseur pour mesurer la quantité de terre ;
- La passer dans le malaxeur ;
- L'additionner à l'eau et au ciment ;
- Faire passer le mélange dans la presse puis, dans la pondeuse qui donnera trois blocs de terre (brique) lors d'un seul remplissage ;
- Laisser reposer pour que la brique durcisse ;
- Au final on obtient un bloc stabilisé.

Les maisons témoins en briques crues pressées, réalisées par l'unité de transformation de Nzeng-Ayong présentent des façades en briques, à structure sableuse, érodées par les eaux météoritiques (Figure IV.2.2 ; Figure IV.2.3).



Figure IV.2.2 : Maisons témoins de l'unité de transformation de Nzeng-Ayong. Villa n°15 (A), Villa n°24 (B) et Villa n°17 vue de face (C) et vue arrière (D)

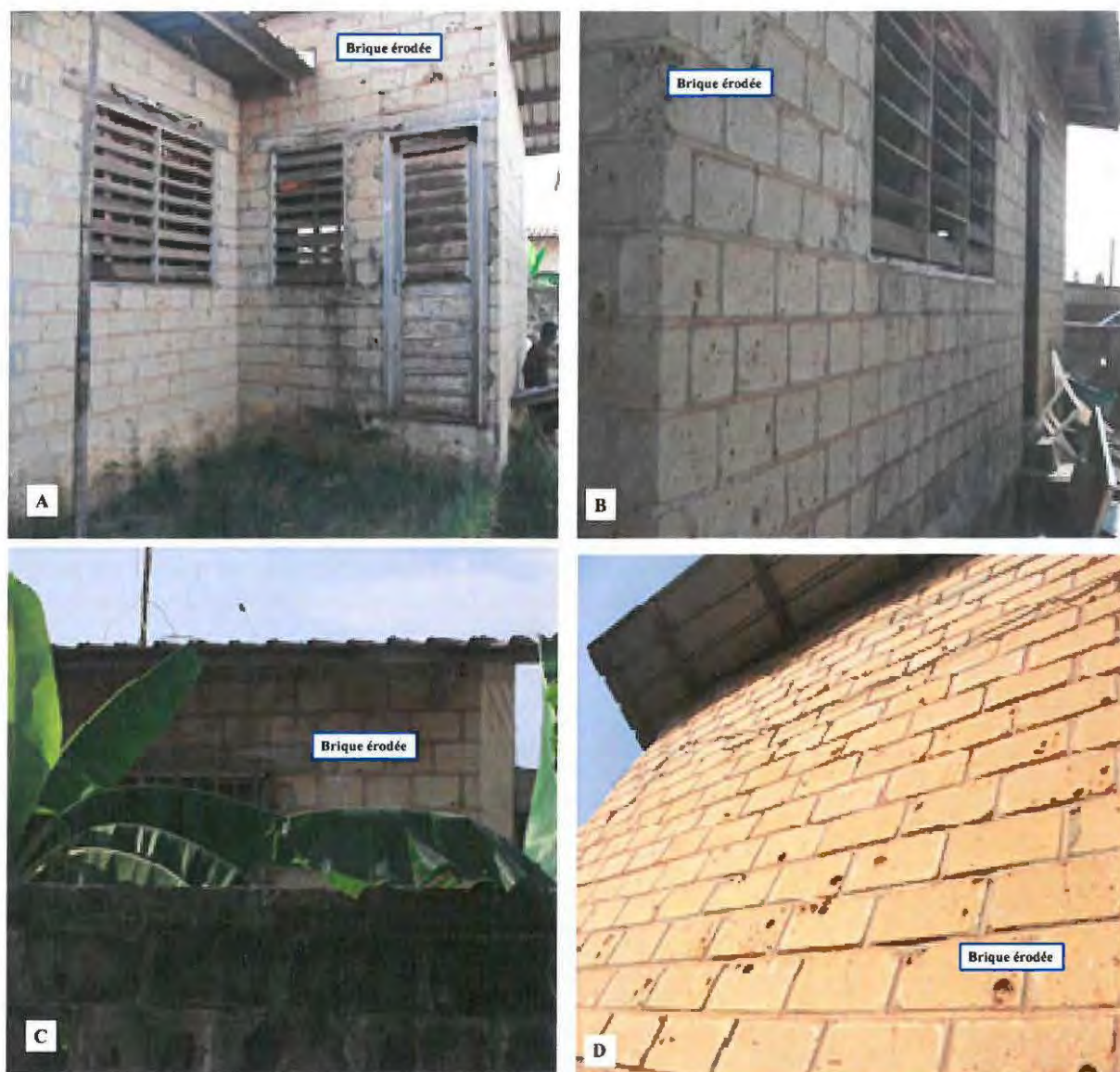


Figure IV.2.3 : Maisons témoins de l'unité de transformation de Nzeng-Ayong. Villa n°8 vue de face (A) et vue latérale (B), Villa n°1 dans la clôture (C), Villa n°2 (D)

Les briques proposées par l'usine de Nzeng-Ayong sont principalement de couleur jaune. La société Ralph et Kevin construction, propose deux types de briques dues à leur couleur en rapport avec la couleur de l'argile utilisée (jaune ou rouge) et la latérite.

IV.3. Utilisation traditionnelle d'argiles à briques au Gabon

Le Gabon est une nation relativement jeune et les premiers habitants n'ont pas laissé de bâtiments comparables en splendeur à ceux de la Grèce ou de l'Égypte. L'architecture au Gabon est régionalement diverse et a été construite par les influences étrangères, françaises, anglaises et américaines. Toutefois, sur le plan traditionnel, les Gabonais combinaient à merveille deux techniques, à savoir la poterie et la vannerie. Les murs de ces "cases" étaient modelés en « terre » sur une armature végétale (piliers et charpente en bois clayonnés de bambou dans lequel on introduisait de la terre battue). Ces murs étaient ensuite crépis avec du sable lié à l'argile. Quand tout était sec, on les peignait avec du kaolin. Elles prouvaient l'habileté manuelle du propriétaire-constructeur (Figure IV.3.1).



Figure IV.3.1 : Murs d'une maison en terre battue (quartier pk6) à Libreville face arrière (A), face latérale (B) et de face principale (C)

L'extraction de la terre nécessaire à la fabrication des briques en terres crues se fait à partir de puits rudimentaires. Les hommes arrachent l'argile à l'aide de pioches, pelles et houes. Une fois l'argile extraite, un travail de broyage permet d'affiner la matière première. Ensuite, l'ajout d'eau en grande quantité permet d'obtenir une pâte homogène, à la plasticité voulue. Le pétrissage qui se fait au pied, permet d'éliminer les derniers cailloux. Cette préparation de l'argile se termine par une phase de pourrissage, durant laquelle la terre glaise se repose. Son façonnage se fait dans un moule en bois dont les bords et le fond sont ensablés afin que la

glaise n'y adhère pas. Un morceau de glaise est placé dans le moule, puis aplani. La surface est égalisée et arasée de son excédent à l'aide d'un archet ou d'une plante humide. Le tout est démoulé et déposé sur le sol, ou sur une grille pour une première phase de séchage. Une fois durcies, les briques sont empilées en quinconces pour faciliter la circulation de l'air entre elles. Ces empilements de briques sont nommés châteaux. Ce travail manuel a donné aux briques leur forme caractéristique (Figure IV.3.2).



Figure IV.3.2 : Mur en briques crues non pressées traditionnelles au Gabon

IV.4. Objets d'arts et manufactures à base d'argiles au Gabon de l'Ecole Nationale d'Art et de Manufacture (E.N.A.M)

L'Ecole Nationale d'Art et de Manufacture (E.N.A.M) nous propose un éventail d'objets façonnés à base d'argiles du Gabon. Une des richesses de la culture Gabonaise est la réalisation d'objets d'arts originels de qualité. Ces objets d'Art sont vendus localement à bon prix et nous pouvons citer les valeurs de quelques objets. Pot décoratif pour espaces réduits (couloir, chambre ou salon) à 10 000 F CFA, masque Mitsogo en argile par Nkoundi Léontine, élève en 3^{ème} année céramique 50 000 F CFA, représentation d'une pièce imaginaire d'une valeur de 20 000 F CFA par les mêmes élèves et du masque Villy émaillé réalisé par Obiang Apollinaire, chef d'atelier manufacture 45 000 F CFA (Figure IV.4.1).



Figure IV.4.1: Pot décoratif (A), Masque Mitsogo (B), pièce imaginaire (C) et du Masque Villy (D)

Une des représentations de l'habitat rural du Gabon réalisée par Moussavou Mbadinga élève en 2^{ème} année céramique est estimée à 40 000 F CFA (Figure IV.4.2).

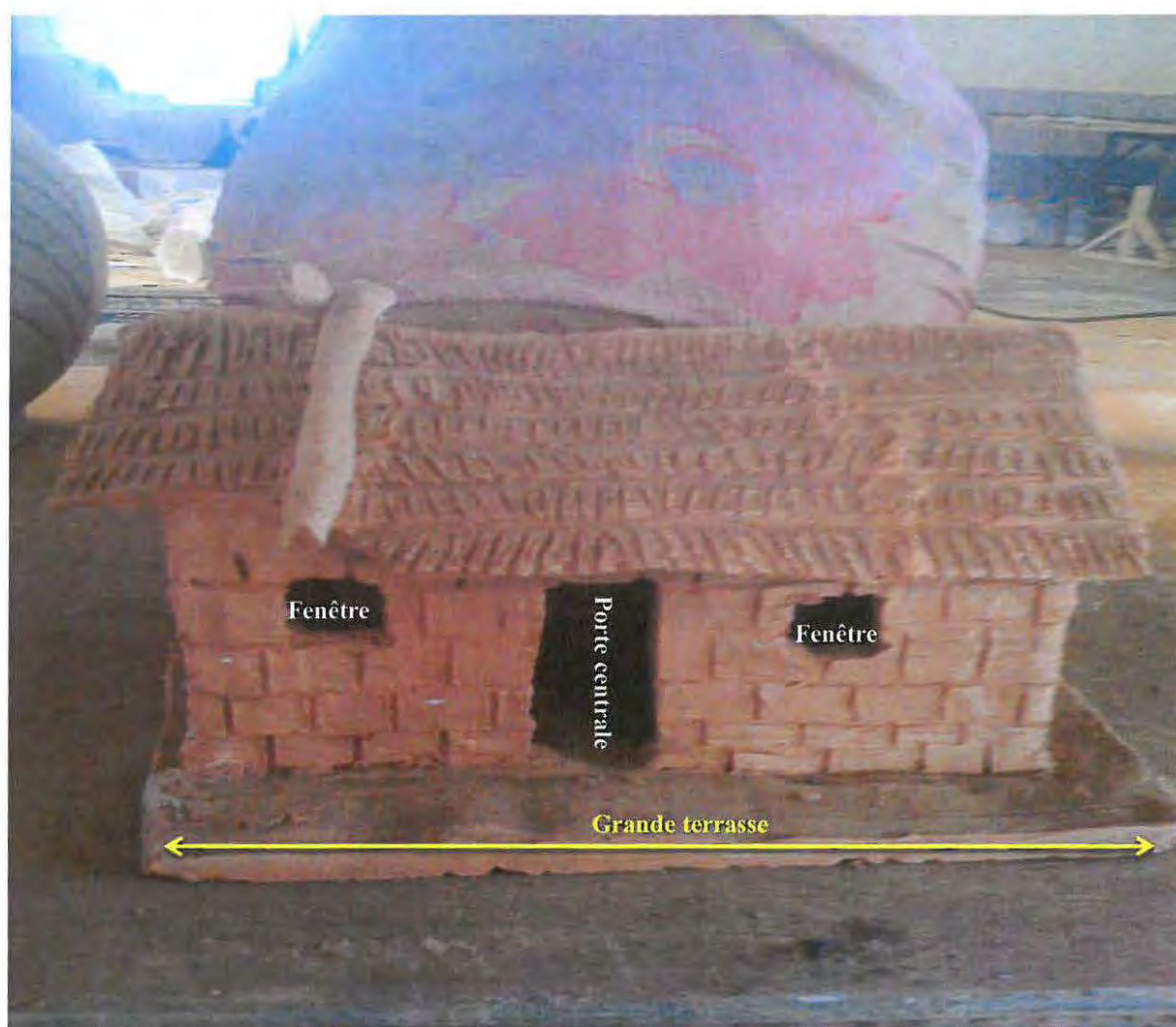


Figure IV.4.2 : Objet d'habitat rural du Gabon réalisé par l'élève Moussavou Mbadinga ENAM-Libreville

Une théière réalisée par Obiang Apollinaire vaut 15 000 F CFA. Un Vase tournassé en argile de Bamba Arnaud étudiant en 3^{ème} année céramique coûterait 20 000 F CFA. Un pot décoratif pour grands espaces salons, terrasses, cours ou espaces publics, dont le coulage est réalisé par Obiang Apollinaire, chef d'atelier manufacture vaudrait 50 000 F CFA. Un ensemble de pièces constituées d'assiettes et autres tam-tam, vases, mortiers vaudrait 1 500 F CFA par assiette (Figure IV.4.3).



Figure IV.4.3 : Une théière (A), vase tournassé (B), pot décoratif (C) et assortiment de pièces constituées d'assiettes et autres tam-tam, vases, mortiers (D)

Un fruit de la zone tropicale (ananas) modelé en sandale, pièce décorative, est estimé à 30 000 F CFA, la représentation d'un soldat et d'un voyageur réalisé par Mve Ndong à 150 000 F CFA par pièce, une espèce de silure d'eau douce du Gabon, à 75000 F CFA réalisé par Bitom Jacques, élève en 3^{ème} année céramique, un écosystème composé d'une mangrove, d'un crocodile et de perroquets, est estimée à 250 000 F CFA (Figure IV.4.4).

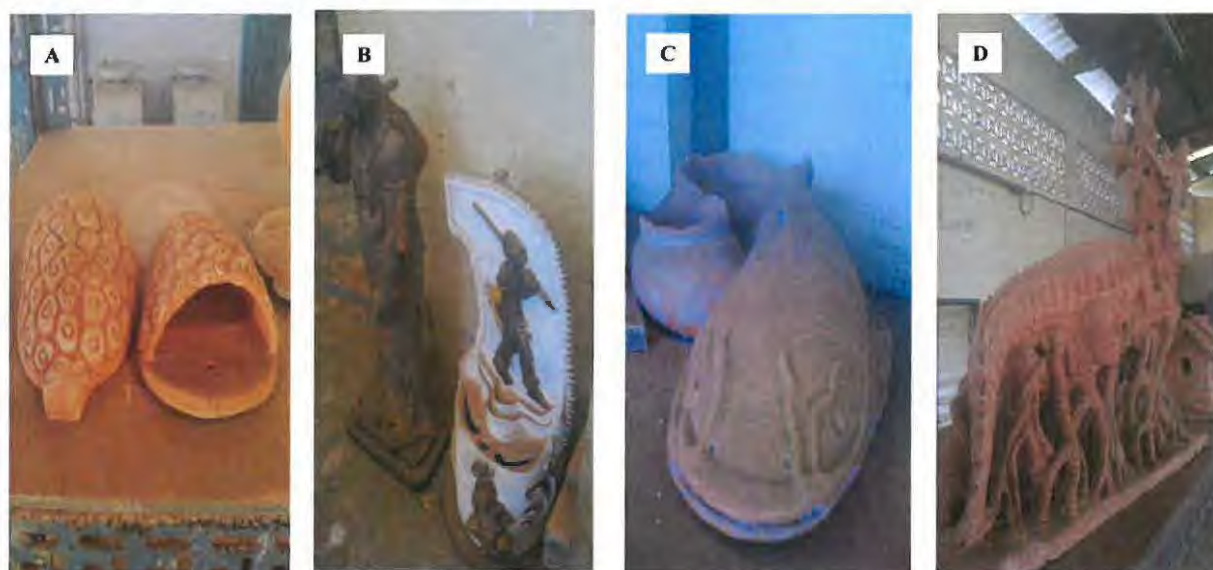


Figure IV.4.4 : Un fruit de la zone tropicale (A), un soldat et un voyageur (B), une espèce silure d'eau douce (C), un écosystème composé d'une mangrove, d'un crocodile et des perroquets (D)

IV.5. Briques cuites au Gabon

Les briques cuites au Gabon n'ont pas connu d'essor considérable. En revanche, dans les années 60, la mission céramique de 1963 composée de dirigeants de la société française de céramique (SFC) a fait le tour de l'Union Douanière et Economique de l'Afrique Centrale

(UDEAC) afin de dresser un bilan des activités céramiques et de juger de l'opportunité d'une réalisation industrielle Oursin *et al.*, (1966). On peut noter les anciennes réalisations aux architectures et beautés sans précédent de la brique cuite au Gabon, comme l'Eglise d'Angone au Nord du Gabon (Epoque Coloniale, Figure IV.5).



Figure IV.5 : Architecture et beauté de la brique cuite au Gabon : cas de l'Eglise d'Angone au Nord du Gabon de l'Epoque Coloniale

La nature, le prix et la qualité des pièces réalisées à base d'argiles du Gabon par l'Ecole Nationale d'Art et de Manufacture (E.N.A.M) relève d'un travail laborieux qui montre combien les argiles gabonaises, qu'elles soient caractérisées ou non, produisent des merveilles, même si la qualité des pièces obtenues doit à l'habileté du céramiste.

IV.6. Produits à base d'argiles importées au Gabon

Le Gabon, à l'instar d'autres pays du monde, ne vit pas en vase clos, il entretient en effet des relations avec d'autres pays. Ces relations peuvent varier selon les pays et les besoins. Sur le plan commercial, le Gabon vend certains de ses produits à l'extérieur et en importe d'autres. Divers produits sont importés, mais les argiles feront l'objet de notre principale attention. Certains biens et services à base d'argiles achetés à l'étranger par le Gabon, pourraient, être transformés à l'intérieure du pays ce qui les rendrait moins coûteux au gabonais moyen. Ces produits importés sont de nature sculpturale, médicinale ou thérapeutique, décoratif, construction et bâtiment et enfin culinaire. La gamme de ces importations vont des produits de luxe aux produits bon marché que l'on peut aussi bien trouver dans les grands magasins ou

hyper marché des grandes agglomérations urbaines que dans les petits magasins et les étalages au sol (communément appelé marché noir). Les principaux pays exportant des produits argileux au Gabon sont orientaux, comme la Chine et les Emirats Arabes Unis, européens (France, Allemagne, Italie) et africains (Maroc, Egypte, Congo, Afrique du Sud, Côte d'Ivoire). Nous nous limitons à recenser certains types de produits à base d'argile importés au Gabon en mettant l'accent sur leur provenance et leur nature (Tableau IV.6).

Tableau IV.6 : Quelques produits importés à base d'argile au Gabon (2010 -2011)

Types des Produits	Provenances
Briques de construction, en céramiques	Chine
Briques de construction en céramiques	France
Hourdis, caches-poutrelles et articles en céramiques	France
Tuiles en céramiques	Chine
Tuiles en céramiques	Cote d'ivoire
Tuile en céramiques	Emirats Arabes-Unis
Eléments de cheminée et autres poteries de bâtiments, en céramiques	Danemark
Tuyaux et accessoires, gouttières en céramiques	Etats-Unis
Tuyaux et accessoires, gouttières en céramiques	France
Carreaux, cubes, des articles similaires en céramiques non vernissés ni émaillés.	Afrique du sud
Récipients d'économie rurale, de transport, d'emballage en céramique	France
Eviers, lavabos, et autres appareils fixes pour usages sanitaires en porcelaine	Belgique
Eviers, lavabos, et autres appareils fixes pour usages sanitaires en porcelaine	Congo-Brazzaville
Articles pour le service de la table ou de cuisine en porcelaine	Italie
Statuettes et autres objets d'ornements, en porcelaine	Canada
Statuettes et autres objets d'ornements, en porcelaine	Etats-Unis
Statuettes et autres objets d'ornements, en porcelaine	Egypte
Argile verte en pate	France
Argile verte en poudre	France
Argile verte « visage et corps »	France
Argile rose en pate	France
Rassoul (argile douce en masque)	Maroc
Pierre d'argile	France

IV.7. Argile et le Génie Civil au Gabon

La connaissance du sol et du sous-sol par le géologue, détermine si les terrains sont aptes ou non à la réalisation des gros ouvrages, afin de prévoir les aménagements par le génie civil, au risque de se retrouver dans une situation qui rappellerait les catastrophes naturelles lorsqu'on a affaire à un sol argileux non caractérisé à l'avance. La caractérisation des argiles de sol est pertinente dans la mesure où la connaissance minéralogique des fractions fines de sol permet de distinguer les argiles et d'éviter celles qui seraient problématiques pour le géotechnicien, notamment, les espèces gonflantes. Le phénomène de retrait gonflement se manifeste par des mouvements différentiels qui se caractérisent à proximité des murs porteurs, tout particulièrement aux angles d'une construction. Il peut engendrer des dommages importants sur les bâtiments et même compromettre la solidité de l'ouvrage : fissures ou lézardes des murs et des cloisons ou des affaissements, éboulements sur talus des routes non protégées lors des phénomènes météoritiques ou des pluies diluviennes (Figure IV.7.1).



Figure IV.7.1 : Pont du cimetière de Lalala (A), affaissement de la dalle de bitume au village Meyang (B) et la rupture des canalisations au quartier Bangoss (C)

A Libreville et dans ses environs, les constructions anarchiques, sont parfois à l'origine d'éboulements (Figures IV.7.2).



Figure IV.7.2 : Eboulement au sommet d'un talus de la base d'une maison route PK6-Nzeng-Ayong Libreville (A), éboulement route Nationale au village Gniali dans la Nyanga (B) et début d'érosion, pente voie expresse PK6 sens Plein ciel-PK6 Libreville (C)

IV.8. Utilisations de l'argile en Géophagie au Gabon

De façon générale, la géophagie est définie comme étant le fait d'ingérer de la terre, même si cette pratique régresse. Il est important de souligner que plusieurs vertus sont à signaler dans le traitement des gastroentérite ou des douleurs intestinales, dans le comblement de carence en oligoéléments, dans la lutte contre les parasites intestinaux ou encore l'obtention d'une sensation de satiété (Rautureau *et al.*, 2008). Il faut au passage dire que la consommation d'argile par les femmes enceintes en Afrique et en Amérique du Sud est très courante selon les mêmes auteurs, l'excès de consommation de kaolin demeure un danger. La pratique de la géophagie par l'humain et l'animal reste universelle (Liewig *et al.*, 2012). Il existe des produits pharmaceutiques fabriqués à base d'argile et utilisés de manière curative par l'homme sur place au Gabon c'est le cas par exemple de :

- Actapulgit en suspension buvable composé de Mormoiron activée, est utilisé par l'homme dans le traitement symptomatique des manifestations fonctionnelles intestinales notamment avec aérophagie et diarrhée ;
- Smecta est une poudre pour suspension buvable composée de smectite dioctaédrique utilisée pour soigner les diarrhées et les douleurs de l'œsophage, de l'estomac ou de l'intestin ;
- Pepsane est utilisé dans les cas de diarrhée et de maux d'estomacs son principe actif : le diméticone qui réalise un pansement adhérent sur la paroi des muqueuses digestives et possède un effet anti-mousse ;
- Bedelix en poudre pour suspension buvable, composé de beidellite.

Outre l'utilisation moderne de l'argile, en géophagie, l'argile est et reste un atout de choix dans la géophagie traditionnelle. L'argile fait partie de certaines recettes culinaires pour diminuer l'effet de certains alcaloïdes. L'argile est utilisée pour permettre la diminution de l'amertume des tubercules : lors de la cuisson des tubercules on les mélange avec un peu d'ail, tout en respectant les doses. L'argile glannée (localement appelé calaba) est utilisée pour le traitement de la diarrhée (Figure IV.8). Mélangée au lait non sucré, l'argile glannée est utilisée pour le traitement de maux d'estomac. Ce calaba se trouve sur le marché de la capitale Gabonaise comme à l'intérieur du pays et se vend à moins de 40 centimes d'euros la pièce moyenne (Figure IV.8). Les femmes en raffolent aussi, surtout lorsqu'elles sont enceintes. Non destinée à être consommée comme du riz ou le fufou, l'argile peut entraîner soit une simple envie passagère ou un trouble du comportement. Consommer de façon excessive des substances n'ayant aucune valeur nutritive comme l'argile, se rattache au syndrome du « pica », trouble du comportement alimentaire, consistant en l'ingestion compulsive et irrépressible de matières non comestibles. Outre le changement de comportement, la consommation des argiles entraîne aussi le risque d'ingurgiter les bactéries et les microbes, compte tenu des conditions dans lesquelles sont produites ces substances méconnues des clients, pire les conditions dans lesquelles elles sont traitées, exposées à l'air libre lors de la vente et font ainsi courir divers risques sanitaires aux femmes qui sont les principales consommatrices, surtout à celles enceintes.



Figure IV.8 : L'argile glanée (calaba) au marché Montbouet Libreville

Conclusion

De nombreux terrains gabonais contiennent des argiles ; elles possèdent de nombreuses propriétés spécifiques, tant physiques (porosité, perméabilité, friabilité...) que chimiques (riches en ions). Toutes ces propriétés ont permis l'utilisation empirique de l'argile par les gabonais comme matériau de construction, de soins, de décoration et comme produit de maquillages coutumiers. La valorisation des argiles au Gabon souffre de beaucoup de maux liés à la volonté politique et à la culture. La faible utilisation des ressources en argiles du Gabon est liée au mauvais inventaire, à la non caractérisation et valorisation de ces substances utiles. Les connaître passe inévitablement par l'étude de leurs propriétés physico-chimiques mais aussi par la maîtrise des procédés convenant aux diverses utilisations industrielles et artisanales. Pour cela, il serait important que l'Etat gabonais adopte une politique de formation qui se traduise par le renforcement des programmes de l'Ecole Nationale d'Art et Manufacturé (ENAM) et par la promotion de la recherche sur les matériaux argileux dans les instances universitaires traitant des questions de sciences expérimentales. Aussi, il conviendrait de réviser le code minier pour faire de l'argile une matière première au même titre que le manganèse, le fer, le niobium... etc. Dans le contexte actuel du développement durable, le Gabon gagnerait à valoriser toutes les activités intégrant les stratégies écologiques. Les ressources en argiles étant des produits durables et à faible impact environnemental, devraient être des matériaux de choix dans le domaine de la construction. En effet, devant la pénurie actuelle de logements, l'état gabonais gagnerait à encourager les constructions en terres cuites à base de matériaux locaux dont le coût est moindre. L'état devrait aussi inciter

les coopératives villageoises à mieux se prendre en charge passant par les PME-PMI pour les autres applications, dont la géophagie.

Chapitre V : Etude des argiles de Libreville et ses environs

Introduction

Libreville est une ville côtière de l'océan Atlantique située à l'Equateur de latitude 0°23'24" Nord et de longitude 9°27'15" Est (Guy Lasserre, 1958), et dans le bassin sédimentaire du Gabon (Chevallier *et al.*, 2002). De nombreuses études ont été menées sur les séries sédimentaires du Gabon dans le principal but de rechercher son potentiel en hydrocarbure (Teissereng et Villemain, 1990 ; Seranne *et al.*, 1992 ; Guiraud et Maurin, 1991). Le bassin côtier caractérisé par le phanérozoïque (550 à 350 Ma) regroupe l'ensemble des dépôts continentaux et marins comprenant les formations sédimentaires d'âge permien à crétacé inférieur (Mbina et Guiraud, 2009 ; Thomas *et al.*, 2001). Ces formations comptent des dépôts d'âge crétacé inférieur à éocène, déposés sur la marge atlantique à l'issue du rifting et qualifiés de post-rift. L'ensemble latéritique des formations sédimentaires côtières d'oligocène à miocène (Seranne *et al.*, 1992 ; Chevallier *et al.*, 2002) montre des sables argileux, carbonates ou (latérite) ; des puissants dépôts sableux. d'âge au moins pliocène à quaternaire communs à l'ouest du domaine côtier du groupe de cirques comprenant des sables kaolinisés, grès argileux, argiles kaoliniques et à l'est des plateaux et sables Batéké du pays reposant sur tous les terrains Archéen à Miocène. Un ensemble associant une brèche polygénique dit stone line et le groupe des alluvions sableuses à limoneuses. La géologie du bassin intérieur a été largement revue à l'occasion de la levée de feuilles Lambaréné (Pian *et al.*, 2009a-b) et Kango (Nagel *et al.*, 2009a-b) Montrant des formations qui regorgent de séries argileuses, qui sont des matériaux dont les applications industrielles sont nombreuses et variées. Les affleurements de matériaux argileux ont été identifiés à l'Est de Libreville le long de la route nationale N°1 à 30 km et suivant un axe nord-sud de Cocobeach à 120 km. Les formations géologiques sont généralement des sables et des schistes argileux.

V.1. Description macroscopique et localisation des sites

V.1.1. Description macroscopique

Sur le plan macroscopique, les échantillons d'argiles de Libreville ont été prélevés dans cinq sites différents qui sont des séries nommées PK14, PK24, MKA1, MCO et MGC. Ces séries sont dans la partie du massif des roches acides appartenant au socle Est-Gabon (Bassot *et al.*, 1987 ; Thiéblemont *et al.*, 2009h-i). Dans le manuscrit de Boulingui *et al.* (2015), il est étudié La caractérisation physique et chimique des séries MGC et MCO des matériaux argileux de Mengono et Mefazé et leurs propriétés de cuisson. Dans chaque site d'étude, un numéro, une dénomination au choix de l'échantillon sur critère de localisation de la zone de prélèvement, des coordonnées GPS, et une observation par échantillon ont été ici nos critères de base pour la description sommaire de terrain dit macroscopique. Ces sites sont constitués de matériaux argileux fins de couleurs variées : rouges, grises, brunes, blanches, violettes. Des cassures terreuses à imparfaits, des duretés inférieures et supérieures à celle de l'ongle, pas de réactions avec de l'acide chlorhydrique dilué. Le mode de prélèvement utilisé est celui d'une

acquisition de données sur le terrain suivant la littérature sur les informations disponibles de la région en termes de topographie et de géologie par l'acquisition des cartes. La méthode d'acquisition d'informations est celle choisie sur le terrain comme système de prélèvement d'échantillons qui obéit à un protocole définie par la décision du nombre de sites à prospector, la détermination des emplacements d'observation, la réalisation de mesures de terrain et la récolte des échantillons pour les analyses au laboratoire en s'inspirant des manuscrits de (Legros, 1996 ; Frontier, 1997 ; Webster et Olivier, 2001).

V.1.1.1. Série PK14

La série PK14 est située sur la route nationale N°1. C'est une série qui a des matériaux argileux de couleur rouge pour le 1PK14 et grise pour le 2PK14. L'affleurement d'argile est une colline haute d'environ 20 mètres à l'Est de Libreville (Figure V.1.1.1.1). Une série qui présente une stratification avec des dépôts en forme de rides des couleurs variées rouge-blanche (Figure V.1.1.1.2). Ces rides ont un aspect plus ou moins arrondi, des sillons raides à la surface du banc argileux et des cassures conchoïdales. Une distance inférieure à 1 cm qui sépare les rides et un relief de quelques millimètres.



Argile rouge PK14 N°1

Figure V.1.1.1.1 : Vue d'ensemble des argiles rouges de la série PK14 sur la N°1

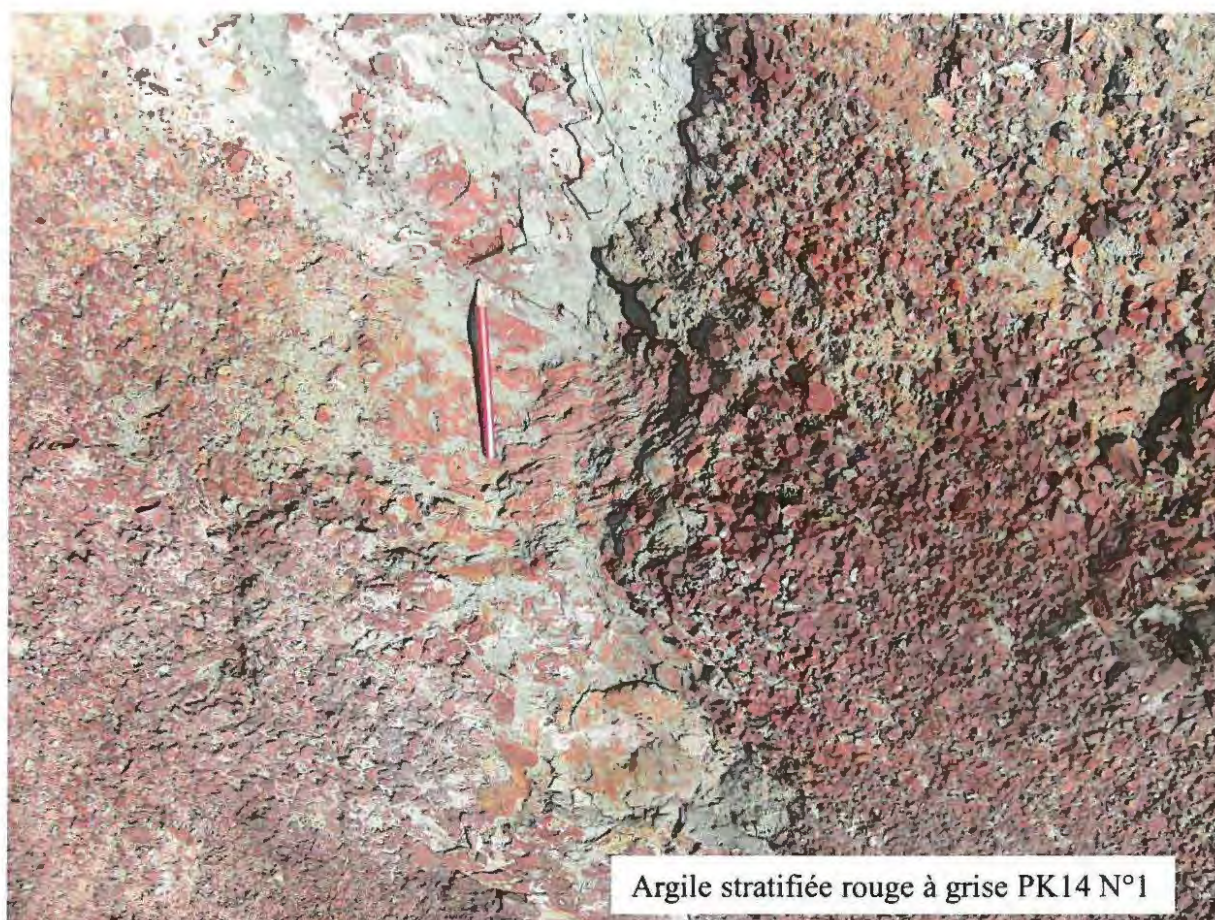


Figure V.1.1.1.2 : Stratification en forme de rides des argiles de la série PK14 de couleur variée rouge-grise à blanchâtre

V.1.1.2. Série PK24

L'argile de la série PK24 des échantillons prélevés à Essassa, est de couleur clair pour 4 PK24 et brune pour 5 PK24. L'argile de cette série d'Essassa est une couche horizontale qui affleure au niveau d'une tranchée routière. D'un aspect général gris, cette argile est indurée en certains endroits (Figure V.1.1.2).



Figure V.1.1.2 : Argiles indurées grises de la série PK24 d'Essassa

V.1.1.3. Série MKA1

La série MKA1 des échantillons prélevés à Massika à 1 Km au sud des rails, est une série de couleur blanche fine pour 6MKA1, blanche sableuse pour 7MKA1 et frange bordeaux pour 8MKA1. L'argile affleure au niveau d'un talus de 7 à 8 mètres de haut constitué de :

- Latérite gravillonnaire (3 m d'épaisseur)
- Argile blanche (4 m d'épaisseur) comprenant une bande rouge bordeaux de 20 cm d'épaisseur (échantillon 8 MKA1).
- Argile blanche sableuse observée sur un mètre d'épaisseur mais sa base est inconnue.

L'échantillon 9MKA1 brune bariolée est prélevé à Massika sur un affleurement de talus hectométrique constitué d'argile brune bariolée rouge (Figure V.1.1.3).



Figure V.1.1.3 : Passage bordeaux de l'argile blanche de la série MKA1 de Massika

Les ressources minérales argileuses recensées dans les différentes localités font partie intégrante du bassin sédimentaire côtier intérieur gabonais de la région de Libreville (Figure II.1.1.1). Les argiles du Gabon dans la région de Libreville au regard du descriptif concernant l'épaisseur des argiles à l'affleurement et de leur extension probable, peuvent être considérées comme abondantes. Dans la partie descriptive des fractions fines, le choix des différentes argiles nous orientera vers le type d'utilisation de ces matériaux qui sont utilisés depuis au Gabon à tout azimut. La richesse des matériaux argileux au Gabon dans la province de

l'Estuaire engendre des potentiels très prometteurs pour des applications en termes de terres crues et terres cuites.

V.1.2. Localisation des sites de prélèvement des argiles de Libreville

Le résultat de l'inventaire des ressources en argiles dans la région de Libreville aboutit à la localisation sur la carte topographique de Libreville des différentes séries des matériaux argileux prélevés (Figure V.1.2).



Figure V.1.2 : Carte de situation des argiles de Libreville et de ses environs

V.2. Caractérisation fine des argiles crues : Résultats et Discussions

Les matériaux argileux de Libreville, sont majoritairement formés de kaolinite, illite, montmorillonite (smectite) et chlorite. Nous pouvons dire que les argiles de Libreville sont composées des minéraux issus de l'altération supergène des roches préexistantes. Le bassin côtier atlantique gabonais caractérisé par des dépôts continentaux et marins phanérozoïques regrouperait des séries de roches sédimentaires d'origine détritique terrigène (Cahen *et al.*,

1984). La présence des minéraux hérités dans les différentes séries montre qu'ils sont d'origine terrigène. Selon son intensité, l'altération chimique par hydrolyse peut conduire à des minéraux argileux primaires diversement dégradés, des minéraux secondaires issus de la transformation d'une espèce préexistante comme une smectite alumineuse de dégradation, ou aussi à des minéraux secondaires néoformés à partir des ions extraits des solutions de lessivage, certaines kaolinites ou des smectites alumino-ferrifères de néoformation sont des produits issus de l'hydrolyse (Chamley et Deconinck, 2011). Les débris des minéraux comme le microcline, l'orthose du groupe des feldspaths potassiques, souvent abondants dans les roches plutoniques (surtout acide), coexistant avec des feldspathoïdes ou du quartz ou seuls (Beaux *et al.*, 2012), sont présents dans deux séries d'argiles de Libreville, PK24 et MKA1. La présence de ces deux minéraux hérités (le microcline et l'orthose), peut nous renseigner sur la provenance des matériaux argileux qui peuvent être issus de l'altération des roches magmatiques plus ou moins acides. L'équidistance d'empilement de la smectite varie avec le cation compensateur et la pression relative en eau entre 9,65 et 18Å (Brindley, 1951). Pour nos matériaux, la distance interréticulaire de la smectite non traitée est à 15,41Å et à 17,14Å après traitement à l'éthylène glycol (Figures V.2.5.3 et V.2.5.4). Dans les matériaux de la série PK14, PK24 et MKA1, on note la présence de rutile qui, à la base, est un minéral accessoire de nombreuses roches magmatiques ou métamorphiques. L'altération des matériaux basaltiques dans un environnement organique et humide en climat tempéré, s'effectue essentiellement sous l'influence des acides organiques hydrosolubles dissolvant les plagioclases, l'olivine, les pyroxènes et la titano-magnétite, en complexant préférentiellement l'aluminium, le fer, le titane et secondairement le magnésium et le calcium (Moinereau, 1977). Sous climat humide, l'hydrolyse est un processus majeur de l'altération chimique où les protons H^+ remplacent au fur et à mesure une partie des cations alcalins (K^+ , Na^+) et alcalino-terreux (Ca^{2+} , Mg^{2+}) du réseau cristallin diffusant dans les parties interstitielles (Nahon, 1991). La présence marquée du microcline hérité dans la série d'Essassa comparée à la série de Massika s'explique par le positionnement de ces séries argileuses suivant le réseau hydrographique de la région, Essassa en amont et Massika en aval (Figure V.1.2). Il y a lieu de penser à une altération détritique des roches plutoniques surtout acide et ou des pegmatites. L'argilogenèse des matériaux PK24 et MKA1 est justifiée par la présence des minéraux hérités comme le microcline présent pour les deux séries, l'orthose et la muscovite pour la série MKA1. La désagrégation mécanique des formations magmatiques et ou métamorphiques de la région a contribué de manière significative à la genèse des argiles de Libreville. Les séries PK14 et MCO n'échapperont pas à la règle car avec en leurs seins la muscovite et aussi un pourcentage de quartz non négligeable, et celui de l'illite suggèrent une origine liée à la désagrégation mécanique des roches ignées suivant l'ordre d'altérabilité des minéraux (Berner et Berner, 1987). Pour la seule série MCO, la présence de la chlorite (Clinochlore) et de l'épidote, peut signaler une origine des roches-mères ferromagnésiennes à l'origine. La série MGC avec un pourcentage élevé en kaolinite peut nous orienter sur la présence des minéraux secondaires obtenus par altération des minéraux primaires des roches-mères magmatiques acides. Les limons comme les sables proviennent de la désagrégation physique des roches (Gobat, 2010). La présence du quartz et son pourcentage élevé quasiment dans toutes les séries est normale car sa dissolution est lente d'où son fort pourcentage (Tableau V.2.2). La granularité, la surface spécifique, la capacité d'échange cationique et la morphologie de sédiments de Libreville sont ici des caractéristiques des phases argileuses qui composent ces matériaux minéraux.

V.2.1. Distribution des tailles de particules

Les résultats de la granulométrie lazer ([Tableau V.2.1.1](#)) montrent les tailles des grains en micromètre suivant les pourcentages (D) des passants 10 ; 16 ; 50 ; 84 ; 90 et 99. Dans cette répartition, nous remarquons les particules de grosse taille dans les matériaux 14MGC, 13MGC, 6MKA1 et 7MKA1 avec 470 µm pour une population de 99 %. Tenant compte de la classification granulaire dans les échelles et dénominations granulométriques ([Chamley et Deconinck, 2011](#)), ces matériaux sont classés dans le groupe des pélites et contiendraient une fraction sableuse fine car aucun des matériaux ne renferme une fraction granulaire qui soit au-dessus de 2000 µm ([Baize et Jabiol, 1995](#)). Les minéraux hérités et la silice sous forme de quartz, se trouvent dans ces matériaux ce qui les prédispose à une association avec des fractions limoneuses et une fraction sableuse dans le diagramme défini par [Schroeder \(1978\)](#). Les courbes cumulatives des séries montrant une décantation, présentent des valeurs mesurées des médianes qui représentent la taille des particules pour une masse cumulée à 50 % de sédiment.

Tableau V.2.1.1 : Analyse granulométrique montrant la répartition de diamètre (D) en µm par rapport aux pourcentages (%) 10 ; 16 ; 50 ; 84 ; 90 et 99 des matériaux minéraux argileux des Libreville et de ses environs

Echantillon	D 10	D 16	D 50	D 84	D 90	D 99
1PK14	1,6	2,26	6,75	49,56	71,03	178,5
2PK14	1,65	2,33	7,25	89,56	124,27	254,89
4PK24	3,93	6,46	35,44	67,03	77,21	327,7
5PK24	1,8	2,58	8,29	27,19	34,4	66,66
6MA1	3,49	5,45	81,47	296,56	341,97	480,34
7MA1	1,94	2,81	12,04	248,05	294,48	443,44
8MA1	3,48	5,39	30,67	115,26	164,86	281,01
9MKA1	2,57	3,81	18,93	60,95	74,44	128,76
10MCO	3,34	5,13	27,43	65,97	78,11	130,34
11MCO	2,88	4,31	19,43	45,87	55,32	102
12MCO	2,84	4,24	26,61	71,25	83,01	117,5
13MGC	3,13	4,77	175,3	304,56	343,59	475,94
14MGC	2,53	3,75	124,75	291,18	329,13	463,3

La détermination de l'asymétrie de *skewness* (sk_i) indique les prépondérances des particules fines (valeurs positives) ou grossières (valeurs négatives) suivant le modèle défini par [Chamley et Deconinck \(2011\)](#) adapté comme suit:

$$sk_i = \frac{\phi_{16} + \phi_{84} + 2\phi_{50}}{2(\phi_{84} - \phi_{16})} + \frac{\phi_{10} + \phi_{90} - 2\phi_{50}}{2(\phi_{90} - \phi_{10})}$$

Avec $\phi = D$, pourcentage des passants à la maille m.

Dans le même manuel ([Chamley et Deconinck, 2011](#)) avec le souci de connaître la dispersion des tailles (classement) par rapport à la moyenne de chaque échantillon, nous nous inspirons du modèle de Sorting ou déviation standard noté : ϕ_i . La relation adaptée se définit comme suit :

$$\phi_i = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{90} - \phi_{10}}{6,6}$$

Le tableau V.2.1.2 montre les échantillons associés aux valeurs de sk_i et de ϕ_i . Respectivement sk_i et de ϕ_i montrent les matériaux de petites tailles donc des particules fines avec des valeurs positives expliquant une très forte asymétrie pour l'ensemble des séries et une dispersion des tailles (classement) par rapport aux différentes moyennes montrant les grains qui composent les matériaux minéraux de Libreville hors du classement définie par (Chamley et Deconinck, 2011) qui explique l'intervalle $0 < \phi_i < 0,35$ pour des grains très bien classés et $2,00 < \phi_i < 4,00$ ceux très mal classés.

Tableau V.2.1.2 : Valeurs positives asymétriques (sk_i) et dispersion des tailles (ϕ_i) des sédiments argileux des matériaux minéraux de Libreville et de ses environs

Echantillons	sk_i	ϕ_i
1PK14	1,12	21,52
2PK14	1,06	39,79
4PK24	1,26	26,25
5PK24	1,24	11,09
6MKA1	1,07	124,06
7MKA1	1,03	105,63
8MKA1	1,16	51,92
9MKA1	1,17	25,74
10MCO	1,21	26,54
11MCO	1,22	18,34
12MCO	1,16	28,90
13MGC	1,10	126,53
14MGC	1,07	121,34

V.2.2. Provenance des argiles de Libreville et ses environs dans les séries PK14, PK24, MKA1, MCO et MGC

Ces argiles sont probablement d'origine détritique provenant de roches préexistantes magmatiques et ou métamorphique parallèlement aux travaux de (Eslinger and Peaver, 1988). Les analyses chimiques (Tableau V.2.2.1) montrent que les oxydes des éléments majeurs sont sensiblement proches des moyennes des éléments chimiques définie par Clarke et Goldschmidt dans le manuel d'Elément de Géologie (Pomerol *et al.*, 2011) sensiblement au-dessus de la teneur moyenne d'éléments chimiques trouvés au niveau de la surface de la terre (Foucault and Raoult, 2005). Selon l'analyse chimique, les teneurs en SiO_2 dépassent 60% pour l'ensemble des matériaux argileux des différentes séries de Libreville à l'exception de 9MKA1 où ce pourcentage est de 57,52%. Le matériau 9MKA1 avec une teneur en quartz de 57,52% et une granularité le classant dans les sables très fins (Chamley et Deconinck, 2011),

montre des grains fins dont près de 99% sont à 128,76 μm de diamètre (Tableau V.2.1.1). Dans tous les cas, les argiles des séries 1 PK14 ; 2 PK14 ; 4 PK24 ; 6 MKA1 ; 7 MKA1 ; 8 MKA1 ; 10 MCO ; 12 MCO ; 13 MGC et 14MGC sont des argiles sableuses y compris pour la série 9 MKA1. En roche totale (Tableau V.2.2.1), les pourcentages d'oxyde de silicium et d'aluminium dépassent les autres oxydes en accord avec la présence de phyllosilicates dioctaédriques, en moyenne, ces matériaux comportent 13,79%, en oxyde l'aluminium et 73,30% en oxyde de silicium largement au-dessus des valeurs citées par Clarke et Goldschmidt (Pomerol *et al.*, 2011). Ces matériaux minéraux argileux de Libreville et ses environs sont des argiles sableuses titano-magnésifères à 0,90% de TiO_2 , 0,81% et de 4.13% de Fe_2O_3 en moyenne (Tableau V.2.2.1). Suivant la loi de la répartition et d'association des éléments majeurs (teneurs > à 1 %), mineurs (entre 1 et 0,1 %) et traces (< 0,1 %), le silicium et l'aluminium étant en proportion majoritaire, les matériaux minéraux argileux de Libreville sont à composition de phyllosilicates du groupe de silt à pélite (Chamley et Deconinck, 2011). Le rapport moyen de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ sur roche totale des différents échantillons est largement supérieur à 2, ce qui permet de dire que les matériaux minéraux de de Libreville sont des matériaux hérités des roches préexistantes (Legros, 2007).

Tableau V.2.2.1 : Analyse chimique des matériaux argileux de Libreville et de ses environs

Echantillons	1PK14	2PK14	4PK24	5PK24	6MKA1	7MKA1	8MKA1	9MKA1	10MCO	11MCO	12MCO	13MGC	14MGC
SiO_2 %	63,14	69,00	77,17	77,20	78,82	81,22	64,88	58,85	72,65	67,39	78,93	84,16	79,48
Al_2O_3 %	17,24	14,02	11,42	11,06	13,13	11,31	20,49	19,90	11,92	15,75	11,93	9,66	11,45
Fe_2O_3 %	6,82	6,48	2,37	2,76	0,56	0,92	4,20	6,07	5,93	7,45	2,81	2,80	4,46
MnO %	0,03	0,03	0,01	0,01	<0,01	0,02	<0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
MgO %	1,64	0,94	1,09	1,03	0,40	0,34	1,23	1,47	1,64	0,43	0,18	0,07	0,11
CaO %	<0,01	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,01	0,07	0,01	0,07	<0,01	<0,01	0,01	<0,01
Na_2O %	0,04	0,03	0,07	0,06	0,07	0,07	0,05	0,23	2,02	0,07	0,03	<0,01	<0,01
K_2O %	2,95	1,63	2,72	2,37	2,16	2,32	2,84	7,95	1,18	1,69	0,76	0,16	0,22
P.F %	6,59	6,18	4,03	4,35	4,44	3,76	6,97	5,51	3,53	6,16	4,61	3,82	5,17
Total %	98,46	98,31	98,89	98,88	99,59	99,95	100,73	100,01	98,96	98,94	99,24	100,69	100,89

Pour évaluer de manière efficace les teneurs en différentes phases qui composent les matériaux minéraux argileux dans la région de Libreville et ses environs, nous nous fondons sur les connaissances qualitatives des différentes phases fournies par la diffraction des rayons X sur roche totale et en lames orientées, la microscopie électronique à balayages et nous exploitons les analyses chimiques. Le calcul de la composition modale des différents minéraux se fait suivant le modèle multi-linéaire développé par (Njopowouo, 1984 ; Yvon *et al.*, 1990). Les teneurs en chaque phase se trouvent dans les tableaux V.2.3.7, V.2.4.7 et V.2.5.7 relatifs aux séries PK14, PK24 et MKA1. Les teneurs en phases argileuses des séries MCO et MGC sont mentionnées dans le texte de Boulingui *et al* (2015). Des résultats mentionnés dans les tableaux V.2.3.7, V.2.4.7 et V.2.5.7, nous pouvons reconstituer les pourcentages approximatifs des oxydes des phases monominérales caractéristiques des argiles présents dans les séries PK14, PK24 et MKA1 à partir du modèle développé en IV.3.3 du

chapitre IV de ce manuscrit de thèse. Dans cet exposé nous considérons les matériaux (échantillons) dans les séries (PK14, PK24 et MKA1) qui sont des sédiments déposés dans un bassin sédimentaire. Nous pouvons alors calculer l'indice d'altérabilité chimique (CIA) à partir de la composition chimique de la roche totale des échantillons suivant la relation définie par [Suttner et Dutta, \(1986\)](#) qui montre l'augmentation de la maturité avec la teneur en SiO_2 . L'altérabilité chimique varie en fonction de la granularité du sédiment dépendante de la dynamique sédimentaire suivant la relation :

$$\text{Indice CIA} = \frac{\% \text{SiO}_2}{\% \text{Al}_2\text{O}_3 + \% \text{K}_2\text{O} + \% \text{Na}_2\text{O}}$$

Ces auteurs ont également démontré que la maturité des sédiments croît lorsque l'humidité augmente avec le SiO_2 . Selon [Campy et al., \(2013\)](#), les valeurs de 16 % et 12 % correspondent respectivement à la diminution des fragments rocheux et celle de feldspaths. Suivant les valeurs approximatives de nos matériaux minéraux argileux de Libreville et ses environs, les valeurs de l'indice d'altérabilité chimique pour chaque échantillon sont en dessous de 9 % ce qui signifie que les matériaux minéraux argileux de Libreville sont des formations sédimentaires à caractères argileux où la diminution des minéraux (fragmentation rocheuse) en termes de taille de grain n'est pas très active ([Tableau V.2.2.2](#)).

Tableau V.2.2.2 : Valeurs des Indices d'Altérabilités Chimiques (CIA) en % des échantillons des matériaux minéraux argileux de Libreville et de ses environs

Echantillons	1PK14	2PK14	4PK24	5PK24	6MKA1	7MKA1	8MKA1	9MKA1	10MCO	11MCO	12MCO	13MGC	14MGC
Indice													
l'Altérabilité Chimique (CIA) %	3,12	4,40	5,43	5,72	5,13	5,93	2,78	2,10	4,80	3,85	6,21	8,57	6,81

La présence de feldspaths seulement en traces dans les matériaux de Libreville montre que dans ces roches argileuses il y a les restes des minéraux hérités des roches originaires dans certains matériaux. L'identification aux rayons X et le calcul des teneurs, (tableaux indiqués ci-dessous) la présence en pourcentage trop faible des restes de minéraux hérités des roches originaires dans certains matériaux. Dans le matériau de la série PK14 ([tableau V.2.3.7](#)), il y a des débris de muscovite (0,45 %), le matériau de la série PK24 ([tableau V.2.4.7](#)), présente les débris de microcline (1,15 %) et le matériau de la série MKA1, ([tableau V.2.5.7](#)), montre des débris d'orthose (0,38 %), microcline (0,63 %), muscovite (0,17 %), augite (1,70 %), albite (0,21 %). Les différentes teneurs en traces des minéraux hérités ayant résisté à l'altération dans chaque série sont ici négligeables par rapport à celles des phases argileuses caractéristiques des roches sédimentaires présentes.

V.2.3. Argiles du PK14 sur la Route Nationale N°1 (Série PK14)

[Morel \(1996\)](#), mentionne clairement qu'une capacité d'échange cationique (CEC) comprise entre 10 et 40 meq/100g est typique d'un matériau où domine l'illite. La capacité d'échange cationique du matériau PK14 est de 15,88 meq/100g pour 1PK14 justifié par le fort pourcentage de l'illite à 40,10 % pour 11,68% de kaolinite. Une CEC de 8,90 meq/100g pour 2PK14 proche de 10 meq/100g et voisine de la CEC d'un matériau contenant, kaolinite (18,28

%) et illite (22,50 %) (Tableau V.2.3.7.) Les capacités d'échanges cationiques des matériaux de la série PK14 se situent dans l'intervalle de la capacité d'échange cationique d'une illite pure (entre 10 et 50 meq/100g) pour le matériau 1PK14 et de la kaolinite pure (1 meq/100g et 15 meq/100g) pour 2PK14 suivant Brady et Weil (2008) et Girard *et al.*, (2011). La surface spécifique de la série PK14 est de 79,1 m²g⁻¹ pour 1PK14, et de 57,5 m²g⁻¹ pour le matériau 2PK14, proche des valeurs définie par (Girard *et al.*, 2011 ; Morel, 1996).

V.2.3.1. Granulométrie des matériaux minéraux argileux de la série PK14

La granularité, des matériaux de la série PK14 est une des propriétés minéralogiques des phases argileuses. La granulométrie lazer (Figure V.2.3.1) révèle les diamètres des grains (D) liés aux pourcentages massiques de passants de 10 ; 16 ; 50 ; 84 ; 90 et 99. Cette répartition révèle des particules grossières dans la limite arénites et pélites des matériaux 1PK14 et 2PK14 avec 217µm pour une population moyenne de 99 % de diamètre des grains. Selon la classification des échelles et dénominations granulaires (Chamley et Deconinck, 2011), ces matériaux appartiennent au groupe des arénites et pélites avec une fraction sableuse fine à très fine du côté arénites pour fraction grossière à fine du côté pélites dans l'ensemble de la série. Les médianes de distribution pour les échantillons 1PK14 et 2PK14 sont respectivement de 6,7µm et 7,3 µm. Les matériaux étant fins, la détermination de l'asymétrie (index *ski*) indique la dominance des particules fines. Les deux échantillons ont donc une asymétrie positive de +1,11 pour 1PK14 et +1,06 pour 2PK14 (Tableau V.2.1.2). Dans la classification définie par l'asymétrie, le matériau de la série PK14 est classé dans la zone de forte asymétrie vers les petites tailles. La détermination de l'asymétrie de (skewness) indique des particules fines des valeurs positives. Les valeurs de dispersion des tailles (ϕ_i) de 21,5 pour 1PK14 et 39,8 pour 2PK14 montrent que les grains de la série PK14 sont très mal classés (Figure V.2.3.1) (Chamley et Deconinck, 2011).

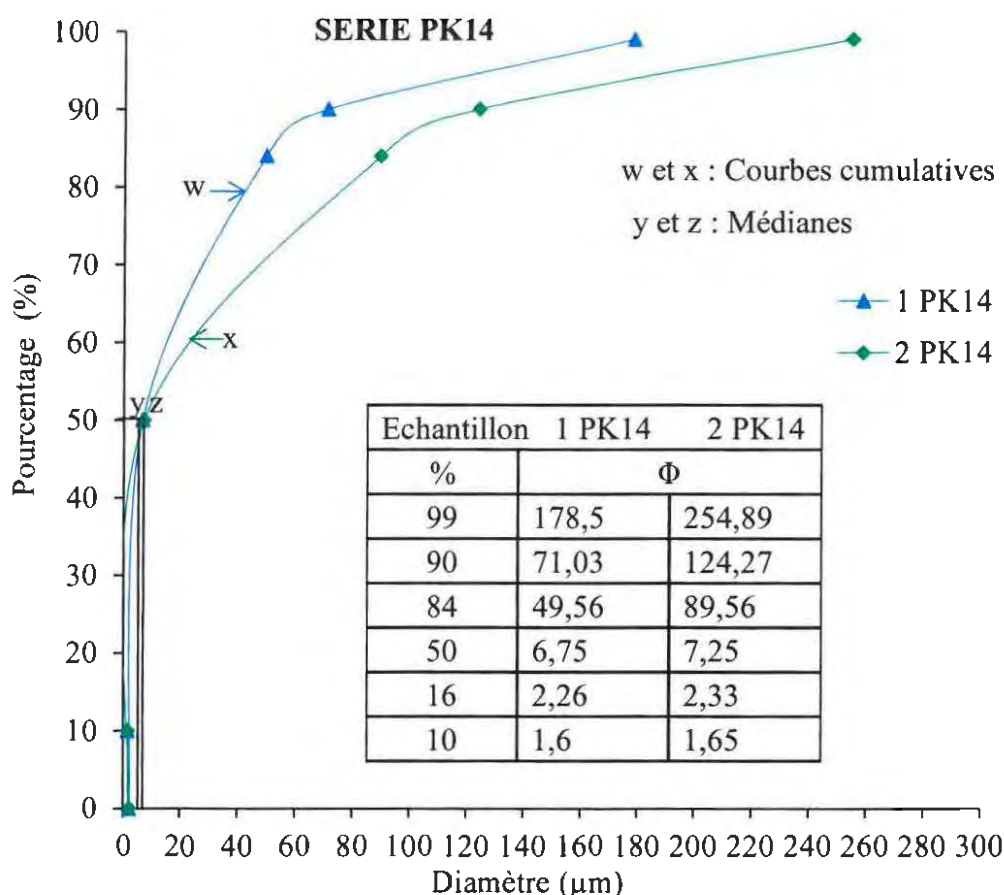


Figure V.2.3.1 : Analyse Granulométrique des matériaux argileux de la série PK14

V.2.3.2. Analyses chimiques des sols argileux de la série PK14

La série PK14 présente des caractères principaux des horizons rouges à gris (Figure V.1.1.1.1). Le rapport moyen de % SiO_2 / % Al_2O_3 est de 4,22 sur roche totale (Tableau V.2.3.2), supérieur à 2, ce qui indique selon Legros (2007) que les sédiments de PK14 sont hérités et qu'ils sont matures selon Potter (1978). L'indice d'altérabilité chimique (CIA) est de 3,12% pour l'échantillon 1PK14 et de 4,40% pour l'échantillon 2PK14 (Tableau V.2.2.2). Les indices d'altérabilités chimiques respectifs sont inférieurs à 12 % (Campy et al., 2013), ce qui explique la présence de feldspaths. Cela est complété par la présence des minéraux argileux dans les matériaux de la série PK14 à fort pourcentage moyen d'illite (31,3 %) et de kaolinite (15,0 %) (Tableau V.2.3.7).

Tableau V.2.3.2 : Analyse chimique des matériaux argileux de la série PK14

Echantillons	% Na_2O	% K_2O	% CaO	% MgO	% Fe_2O_3	% Al_2O_3	% SiO_2	% MnO	% P.A.F	TOTAL
1 PK14	0,04	2,95	<0,01	1,64	6,82	17,24	63,14	0,03	6,59	98,46
2 PK14	0,03	1,63	<0,01	0,94	6,48	14,02	69,00	0,03	6,18	98,31

V.2.3.3. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la série PK14

La détermination minéralogique en roche totale repose sur des analyses par diffraction-X de poudres désorientées. Le diffractogramme des rayons X sur roche totale révèle la présence de minéraux identifiés par leurs réflexions caractéristiques, en référence aux banques de données existantes (Thorez, 1975). Ici sont mentionnés les raies majeures repérées dans les diffractogrammes de la série PK14 pour les espèces argileuses cardinales présentes dans la série comme suit : 7,15 Å pour la kaolinite proche de la kaolinite parfaite (7Å) ; 9,98 Å pour l'illite proche de l'illite parfaite (10Å). Selon les données de la diffraction-X en poudre de roche totale désorientée les matériaux de PK14 sont principalement composés de quartz, illite, kaolinite et secondairement d'hématite (Figure V.2.3.3). Les équidistances réticulaires de détermination mentionnées dans la Figure V.2.3.3 sont les suivantes :

Kaolinite: 7, 15 Å ; 4, 46 Å ; 2, 57 Å ; 2, 35 Å ;

Illite: 9, 98 Å ; 4, 46 Å ; 2, 56 Å ;

Quartz : 3,35 Å ; 4,26 Å ; 1,82 Å ; 2,46 Å ; 2,13 Å ; 2,28 Å ; 1,98 Å ;

Hématite : 2,70 Å ; 2,51 Å.

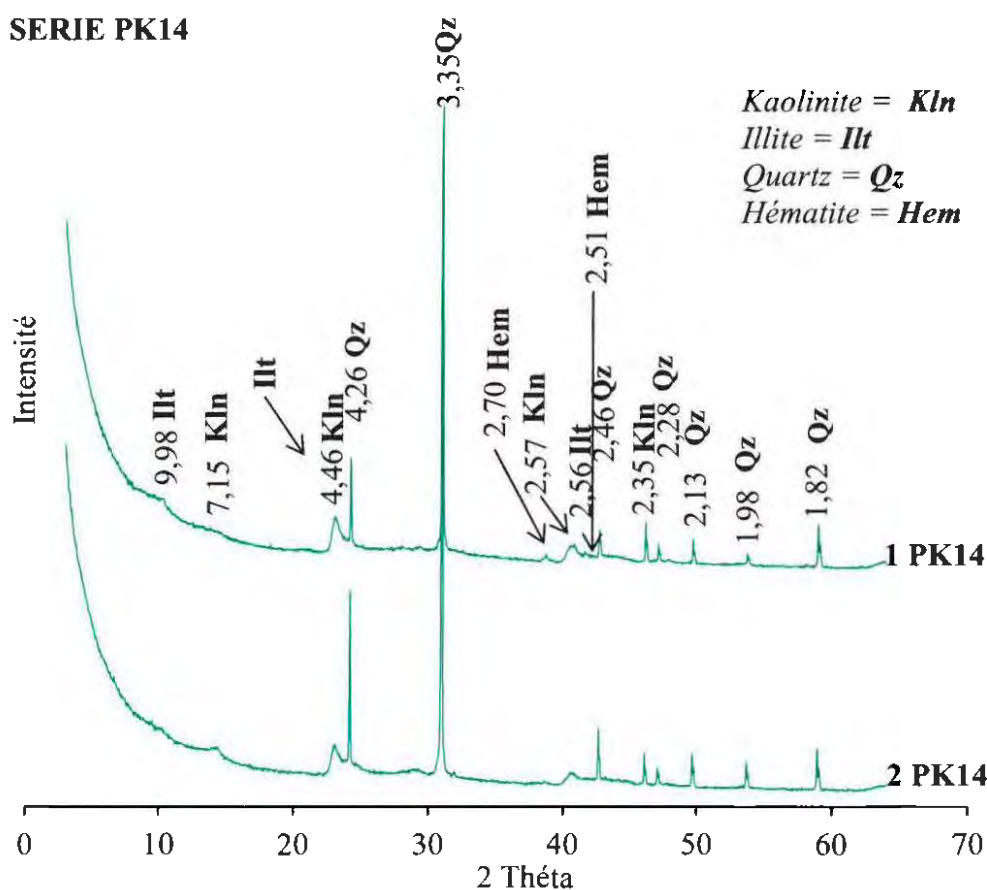


Figure V.2.3.3 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK14 sur la route nationale N°1 au PK14

V.2.3.4. Diffraction des Rayons X sur lame orientée de la série PK14

La détermination des minéraux nous a conduit ici à des analyses complémentaires par diffraction-X pour déterminer la fraction inférieure à 2 µm, des minéraux dits interstratifiés et gonflants pour qui le diffractogramme ne peut être attribué à une espèce pure (Méring, 1949).

Cette seconde étape de l'analyse permet de séparer la fraction argileuse de la fraction supérieure à 2 micromètres, par confection de lames orientées, ensuite traitées à l'éthylène glycol ou chauffées à 550°C ; elle contribue à identifier, des minéraux fins disséminés dans le sédiment. Comme on pouvait s'y attendre, les données sur poudres orientées des fractions fines extraites montrent que la kaolinite est répartie dans les fines. L'hématite est quasi absente des fines, donc répartie dans les fractions grossières. Dans la série PK14, les minéraux présents après le second traitement sont identifiés suivant les pics caractéristiques (Figure V.2.3.4) :

Illite identifié à 10,12 Å; 5,03 Å ;
Kaolinite identifié à 7,19 Å; 3,58 Å;
Muscovite identifiée à 10,01 Å;
Quartz identifié à 3,34 Å;
Rutile identifié à 3,25 Å;
Hématite identifié à 2,69 Å;

Le matériau PK14, a comme principales phases argileuses après traitement à l'éthylène glycol et chauffé à 550°C : l'illite et la Kaolinite (Thorez, 1975). Le traitement à l'éthylène-glycol ne révèle pas de gonflants. La présence de rutile dans la série PK14 peut signifier que les argiles proviennent de l'altération des roches cristallines (Moinereau, 1977). L'hydrolyse suffit à provoquer la désagrégation partielle ou la transformation des minéraux primaires en ceux secondaires au court d'altération. La nature du sol brun à rouge (Figure V.1.1.1.1) témoigne de l'altération des roches ferralitiques. Pour cette série, les deux minéraux argileux les plus abondants y compris le quartz ont des pourcentages moyens de 15,0 % pour la kaolinite, 31,3% pour l'illite et 44,5 % pour le quartz (Tableau V.2.3.7).

Les raies principales des phases qui composent le diffractogramme (Figure V.2.3.4) sur lame orientée sont privilégiées (Brown et Brindley, 1980 ; Jouenne, 1990).

SERIE PK14

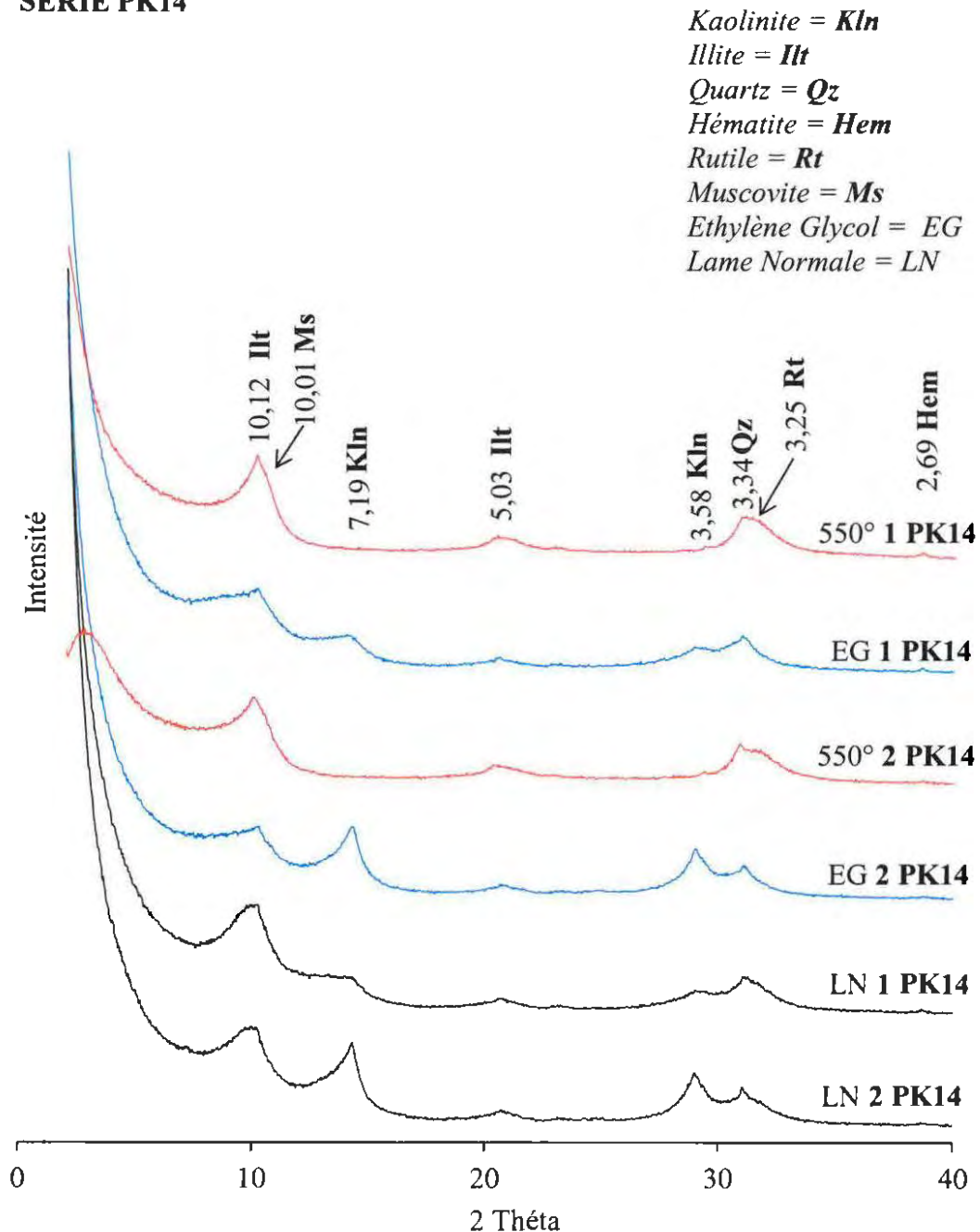


Figure V.2.3.4 : Diffractogrammes-X de matériaux argileux de la série PK14 (Route Nationale N°1 au PK14) sur lames orientées : Normale, à l'Ethylène Glycol et chauffées à 550°C

V.2.3.5. Spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier de la série PK14

Le matériau PK14, montre les résonances caractéristiques de l'Illite et de la Kaolinite (Figure V.2.3.5). La reconnaissance se fait en référence aux critères d'identification des principaux minéraux argileux proposés par [Van Olphen et Fripiat \(1979\)](#) et [\(Delineau et al., 1994\)](#). L'illite, est caractérisée par une résonance assez large vers 3622 cm^{-1} correspondant à l'élongation des protons des groupes hydroxyles dans des environnements octaédriques

aluminium-aluminium-lacune. La résonance à 3580 cm^{-1} , correspond à l'élongation des OH dans les environnements octaédriques aluminium-fer^{III}-lacune (Delineau *et al.*, 1994). La bande large vers 3437 cm^{-1} , correspond à l'élongation du proton dans l'eau moléculaire, elle est associée à la résonance de déformation angulaire vers 1635 cm^{-1} . Aucune bande n'est observée à 1430 cm^{-1} signifiant l'absence de traces de carbonates. De 1000 cm^{-1} jusqu'à 1125 cm^{-1} ce sont les élongations Si-O. A 914 cm^{-1} déformations des OH liés à l'aluminium. La bande à 830 cm^{-1} peut correspondre à la déformation de O-H liés à Al^{3+} et Fe^{3+} puis la déformation de OH suivie de la liaison Al^{3+} et Mg^{2+} . Au regard de ce qui précède, il s'agit ici d'une illite désordonnée.

La kaolinite présente, en principe, quatre bandes d'élongation de protons correspondant aux hydroxydes structuraux. Une bande vers 3620 cm^{-1} correspond aux O-H internes du feuillet, des bandes vers 3698 , 3668 et 3655 cm^{-1} correspondent aux élongations des protons structuraux dans diverses situations sur l'extérieur du feuillet. La résolution de ces bandes décroît fortement quand le désordre structural augmente, on en déduit que les kaolinites présentes ici sont très désordonnées. Comme pour l'illite, on observe les bandes caractéristiques de l'eau moléculaire vers 3435 et 1630 cm^{-1} . Le massif entre 915 et 1115 cm^{-1} caractérise les élongations Si-O, la bande 1114 cm^{-1} est caractéristique de l'élongation de SiO hors du plan. Les bandes à 790 , 759 , 757 , 754 , 696 , 64 et 635 cm^{-1} sont ici considérées comme des bandes caractéristiques des impuretés pour ce matériau. Dans cette série nous avons également une kaolinite désordonnée. La cristallinité et de la finesse augmentent avec le désordre pouvant justifier le fort degré d'hydratation de ces matériaux. Aussi, le doublet à 790 et 800 cm^{-1} est caractéristique de l'élongation Si-O du quartz (Cases *et al.*, 1982).

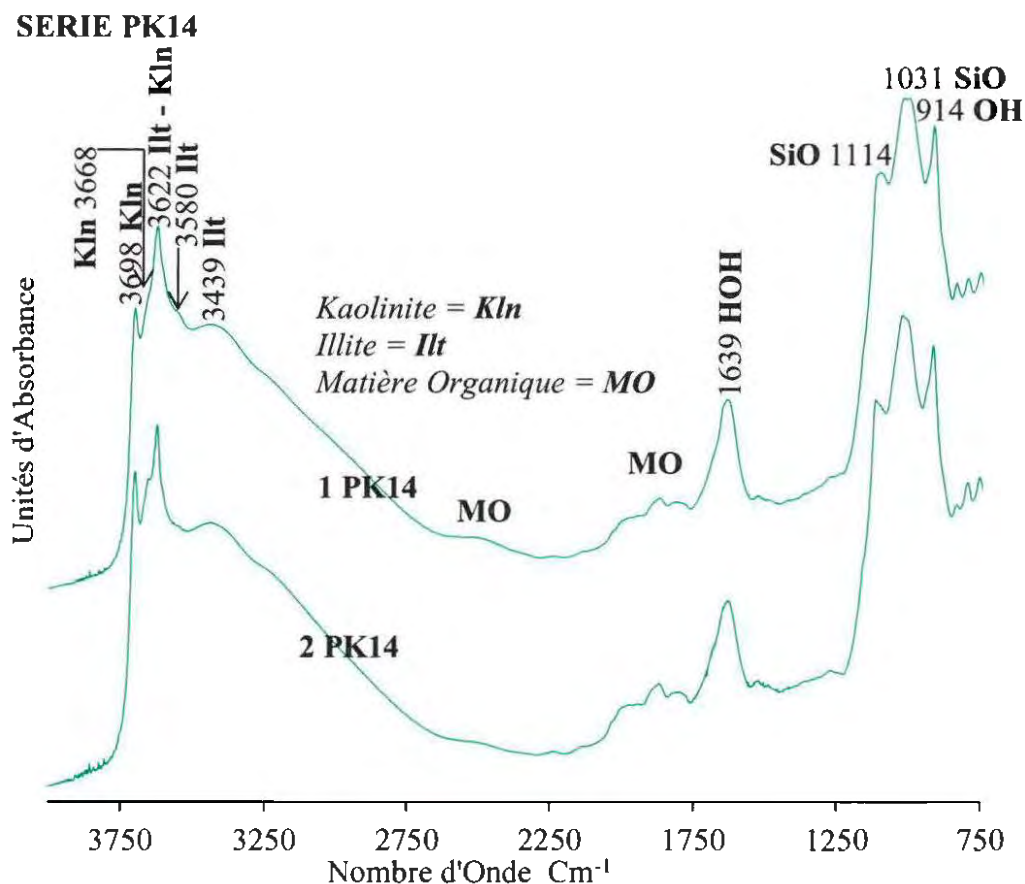


Figure V.2.3.5 : Spectres infrarouge à Transmission de Fourier de matériaux argileux de la série PK14 (Route Nationale N°1 au PK14) sur roche totale

V.2.3.6. Analyse au MEB et EDX de la série PK14 sur roche totale

La figure V.2.3.6, montre une morphologie de l'illite en paillette et de rutile en forme allongée présentant de bords arrondis lisses. La mesure est réalisée en mode ponctuel. Dans la plage prospectée, on détecte, en plus du silicium et de l'aluminium, du potassium, du fer, du titane, du sodium et du magnésium. Chaque élément suffisamment lourd produit plusieurs émissions qui se recouvrent partiellement, en raison de la faible résolution spectrale de la technique. L'EDS associé, fait état d'un matériau non pur composé des éléments atomiques traces comme le magnésium et l'oxyde de fer sous forme d'hématite présent en pourcentage faible dans la série ([Tableau V.2.3.7](#)).

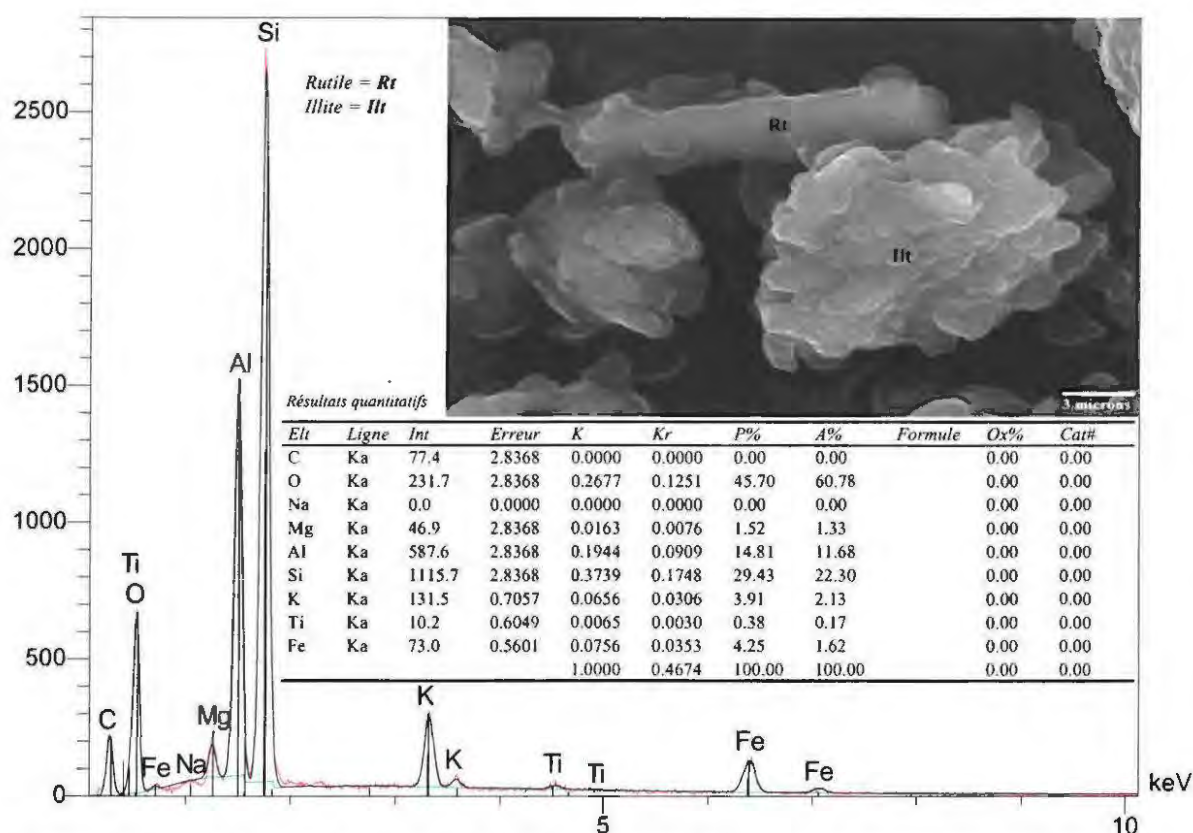


Figure V.2.3.6 : Vue au MEB et EDS de la rutile et de l'illite des matériaux argileux de la série PK14 sur roche totale

V.2.3.7. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de la série PK14

Les principaux minéraux qui composent la série PK14 sont les minéraux argileux : kaolinite et illite (Tableau V.2.3.7). Dans la fraction argileuse, les pourcentages moyens des teneurs en illite et en kaolinite sont respectivement de 31,30% et 14,99%, le minéral predominant est le quartz à 44,50%. Les minéraux accessoires sont l'hématite (oxydes de fer) à 6,25% et le rutile à 1,46%. Les minéraux mineurs ici qualifiés de « traces » sont regroupés dans la rubrique « autres » (1,28%).

Tableau V.2.3.7 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux argileux de la série PK14

Série	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
PK14	1 PK14	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	11,69	99,00
		Illite	$\text{K}_{0,65}\text{Al}_2\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	40,10	
		Quartz	SiO_2	38,77	
		Hématite	Fe_2O_3	6,82	
		Rutile	TiO_2	1,61	
		Autres			1,00
PK14	2 PK14	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	18,29	98,46
		Illite	$\text{K}_{0,65}\text{Al}_2\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	22,50	
		Quartz	SiO_2	50,24	
		Muscovite	$\text{Si}_3\text{AlO}_{10}\text{Al}_2(\text{OH})_2\text{K}$	0,45	
		Rutile	TiO_2	1,31	
		Oxyde de Fer	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	5,67	
		Autres			1,54

Les teneurs massiques calculées des minéraux (tableau V.2.3.7), nous permettent de reconstituer les pourcentages approximatifs des oxydes des phases monominérales caractéristiques des argiles présents dans la série PK14, à partir du modèle développé en IV.3.3 du chapitre IV de ce manuscrit de thèse.

Les pourcentages des oxydes des minéraux cardinaux argileux reconstitués dans la série PK14 par échantillon sont :

1PK14:

Kaolinite: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,57 \%$; $\text{SiO}_2 = 6,56 \%$;

Illite: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 24,57 \%$; $\text{SiO}_2 = 36,61 \%$; $\text{K}_2\text{O} = 5,57 \%$

2PK14:

Kaolinite: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 10,99 \%$; $\text{SiO}_2 = 12,95 \%$;

Illite: $\text{Al}_2\text{O}_3 = 17,78 \%$; $\text{SiO}_2 = 26,49 \%$; $\text{K}_2\text{O} = 4,03 \%$

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales argileuses calculées contextualisés dans la série PK14 sont :

1PK14:

Kaolinite: $Al_2O_3 = 3,19 \%$; $SiO_2 = 7,30 \%$;

Illite: $Al_2O_3 = 14,05 \%$; $SiO_2 = 43,12 \%$; $K_2O = 2,95 \%$

2PK14:

Kaolinite: $Al_2O_3 = 5,28 \%$; $SiO_2 = 15,68 \%$;

Illite: $Al_2O_3 = 8,55 \%$; $SiO_2 = 32,08 \%$; $K_2O = 1,58 \%$

V.2.4. Argiles d'Essassa (Série PK24)

Selon Morel (1996) il est clairement mentionné la valeur de la capacité d'échange cationique (CEC) comprise dans la frange de 10 à 40 meq/100g correspondant à la CEC de matériau à illite dominant. La capacité d'échange cationique du matériau PK24 est de 11,9 meq/100g pour 4PK24 avec un pourcentage de l'illite à 33,5 %. Une CEC de 11,3 meq/100g pour 5PK24 proche de 10 meq/100g et voisine de la CEC de matériau contenant de l'illite (22,5 %) (Tableau V.2.4.7). Les capacités d'échanges cationiques des matériaux de la série PK24 se situent dans l'intervalle de la capacité d'échange cationique d'une illite pure (10 meq/100g et 50 meq/100g) (Brady et Weil, 2008 ; Girard *et al.*, 2011). La surface spécifique de la série PK24 est de $41,7 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ pour 4PK24, et de $41,2 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$ pour le matériau 5PK24, (Girard *et al.*, 2011 ; Morel, 1996).

V.2.4.1. Granulométrie des matériaux des sols argileux de la série PK24

La granularité, des sédiments de matériaux de la série PK24 est une des propriétés minéralogiques des phases argileuses. La granulométrie lazer (Figure V.2.4.1) révèle des tailles des grains (diamètre D) en microns liées aux pourcentages (%) 10 ; 16 ; 50 ; 84 ; 90 et 99. Cette répartition révèle des particules grossières dans la limite arénites et pélites des matériaux 4PK24 et 5PK24 avec $197,0 \mu\text{m}$ pour une population moyennes de 99 % des grains. Selon la classification de Chamley et Deconinck (2011), ces matériaux appartiennent au groupe des arénites et pélites avec une fraction sableuse fine à très fine du côté arénites pour fraction grossière à fine du côté pélites dans l'ensemble de la série. Les médianes de distribution pour les échantillons 4PK24 et 5PK24 sont respectivement de $35,4 \mu\text{m}$ et $8,3 \mu\text{m}$. Les matériaux sont fins comme l'indique la détermination de l'asymétrie (index sk_i). Les deux échantillons ont une asymétrie positive de +1,26 pour 4PK24 et +1,24 pour 5PK24 (Tableau V.2.1.2). Dans la classification définie par l'asymétrie, le matériau de la série PK24 est classé dans la zone de forte asymétrie vers les petites tailles. Les valeurs de dispersion des tailles (ϕ_i) de 26,2 pour 4PK24 et 11,1 pour 5PK24 montrent que les grains de la série PK24 sont très mal classés (Figure V.2.4.1) selon Chamley et Deconinck (2011) qui indiquent l'intervalle 2,00-4,00 pour les grains très mal classés soit $2,00 < \phi_i < 4,00$.

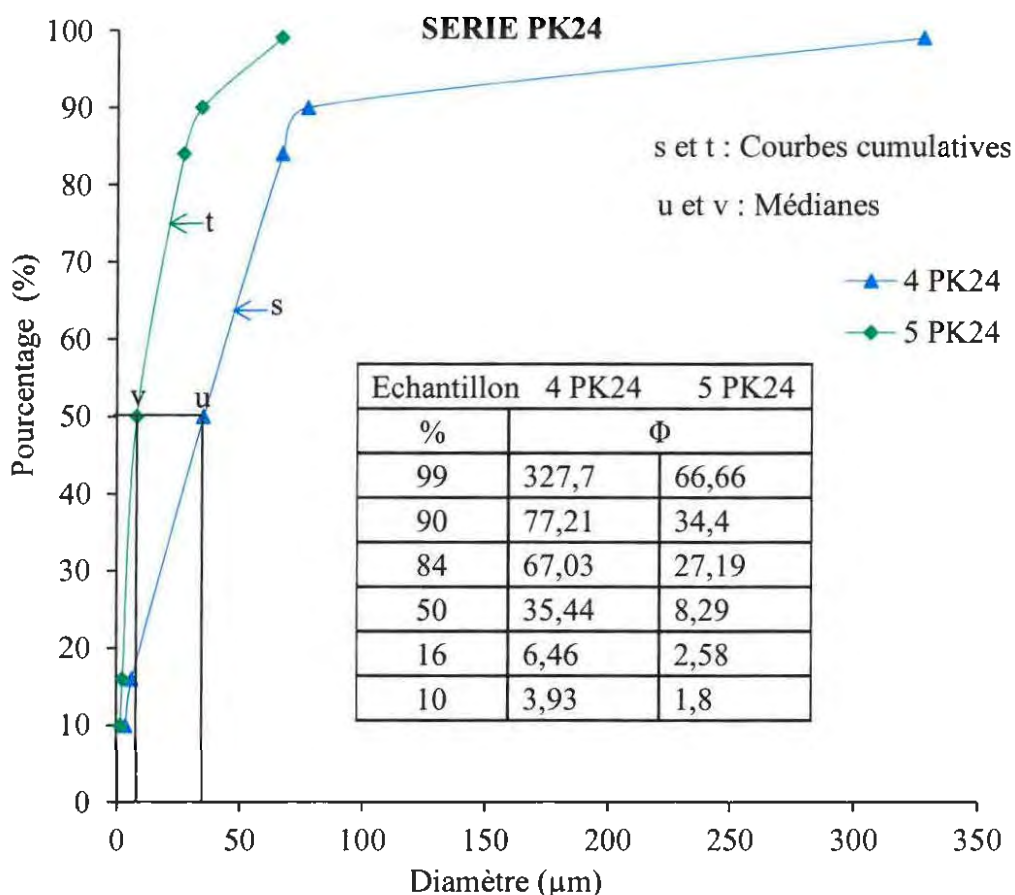


Figure V.2.4.1 : Analyse Granulométrique des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa

V.2.4.2. : Analyse chimiques des sols argileux de la série PK24

La série PK24 présente des caractères principaux des horizons clairs et bruns (Figure V.1.1.2). Le rapport moyen de % SiO_2 / % Al_2O_3 est de 6,87 sur roche totale (Tableau V.2.4.2), supérieur à 2, ce qui permet de dire que les sédiments de PK24 sont hérités (Legros, 2007) et matures selon Potter (1978) qui fait état de l'indice de maturité chimique (CMI) pour le rapport (% SiO_2 / % Al_2O_3). L'échantillon 4PK24 a un indice d'altérabilité chimique (CIA) de 5,43% et de 5,74% pour l'échantillon 5PK24 (Tableau V.2.2.2). Les indices d'altérabilités chimiques respectifs ont des valeurs inférieures à 12 % (Campy *et al.*, 2013), ce qui peut expliquer la présence de feldspaths. Cela est complété par la présence des minéraux argileux dans les matériaux PK24 avec le pourcentage moyen d'illite à 28,8 % (Tableau V.2.4.7).

Tableau V.2.4.2 : Analyse chimique des matériaux argileux de la série PK24

Echantillons	% Na_2O	% K_2O	% CaO	% MgO	% Fe_2O_3	% Al_2O_3	% SiO_2	% MnO	% P.A.F	TOTAL
4 PK24	0,07	2,72	<0,01	1,09	2,37	11,42	77,17	0,01	4,03	98,89
5 PK24	0,06	2,37	0,03	1,03	2,76	11,06	77,20	0,01	4,35	98,88

V.2.4.3. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la série PK24

Ici sont mentionnés les raies basales (principales) repérées dans les diffractogrammes de la série PK24 pour les espèces argileuses cardinales présentes dans la série comme suit : 9,96 Å pour l'illite proche de l'illite parfaite (10Å). Selon les données de la diffraction-X en poudre de roche totale désorientée, les matériaux minéraux du district d'Essassa sont principalement composé de quartz, d'illite, accessoirement de microcline. Les matériaux minéraux de la série PK24 sont à prédominance composés des matériaux argileux et de quartz (Figure V.2.4.3). Les minéraux principaux (illite et quartz) et accessoire (hématisite) présents dans le matériau PK24 sont identifiés par DRX en roche totale selon les équidistances réticulaires suivantes (Figure V.2.4.3) :

Illite repérée à 9,96 Å ; 4,45 Å ; 2,57 Å ;

Microcline repéré à 3,45 Å ; 3,32 Å ; 3,25 Å ;

Quartz repéré à 3,34 Å ; 4,26 Å ; 2,46 Å ; 2,28 Å ; 2,24 Å ; 2,13 Å ; 1,98 Å ; 1,82 Å.

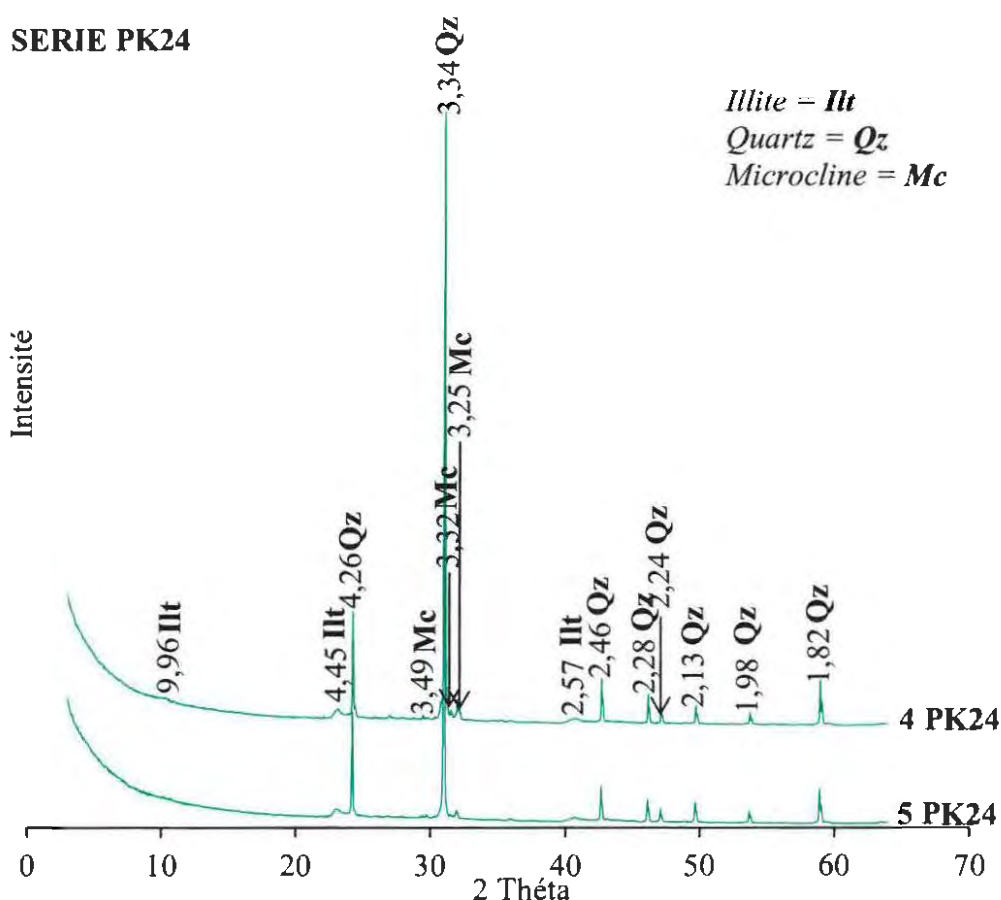


Figure V.2.4.3 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa

V.2.4.4. Diffraction des Rayons X de la série PK24 sur lames orientées, traitées à l'Éthylène Glycol ou chauffées à 550°C.

La détermination minéralogique de la fraction fine repose sur des analyses par diffraction-X de préparations orientées de la fraction inférieure à 2 µm, laquelle peut être traitée à l'éthylène glycol ou chauffée à 550°C afin de qualifier les phases argileuses. La détermination des

minéraux qui composent le matériau de la série PK24, nous a conduit à des analyses par diffraction-X de la fraction inférieure à 2 μm sur préparation orientée et diversement traitées. Comme on pouvait s'y attendre, les données sur poudres orientées des fractions fines extraites montrent que la kaolinite est répartie dans les minéraux non identifiés (Autres). L'hématite est quasi absente des fines, donc répartie dans les fractions grossières. Il faut ici dans cette série dire qu'il y a une interférence possible de la microcline par le rutile et du rutile par les feldspaths potassiques. La présence de rutile par (Kubler, 1966, 1969) est mise en évidence en s'inspirant des manuscrits de Moinereau (1977) et Aprahamian (1974). Dans la série PK24, les minéraux présents après le second traitement sont identifiés suivant les pics caractéristiques (Figure V.2.4.4) :

Illite identifié à 10,01 Å ; 4,99 Å ; 4,49 Å ; 3,34 Å ;

Microcline identifié à 3,25 Å;

Quartz identifié à 3,34 Å;

Rutile identifié à 3,25 Å;

Anatase identifié à 3,52 Å;

Le matériau PK24, a comme principale phase argileuse après traitement à l'éthylène glycol et chauffage à 550°C : l'Illite (Thorez, 1975). Le matériau PK24 qui contient l'illite, comme seule phase argileuse prépondérante a son pourcentage moyen de 28,8 % et le quartz à 63,5 % (Tableau V.2.4.7). Nous identifions les raies principales avec l'aide aussi de (Brown et Brindley, 1980 ; Jouenne, 1990).

SERIE PK24

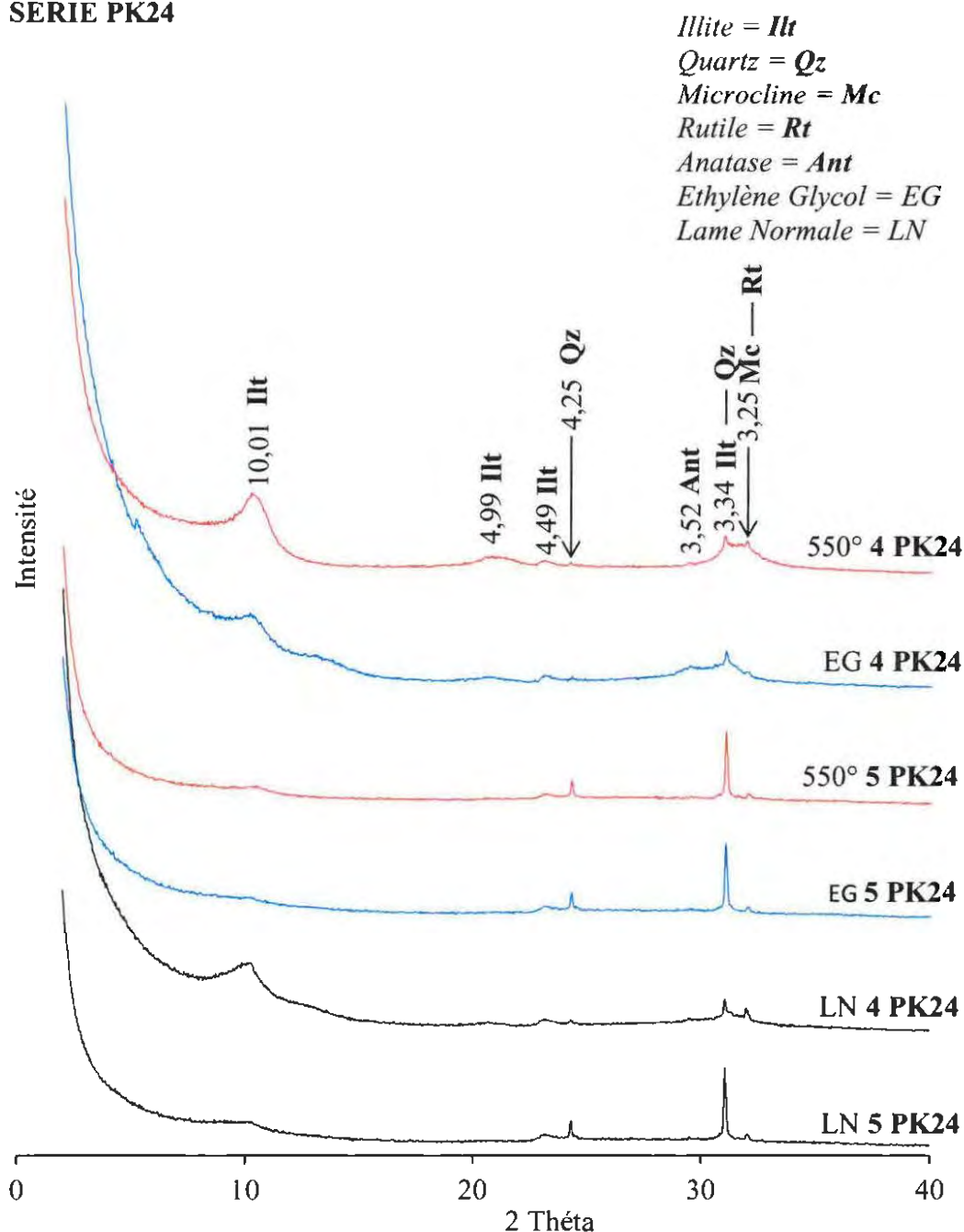


Figure V.2.4.4 : Diffractogrammes-X des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa sur lames orientées : Normale, à l'Ethylène Glycol et chauffée à 550°C

V.2.4.5. Spectroscopie infrarouge à Transformée de Fourier de la série PK24

La série PK24, grâce à l'analyse complémentaire par infrarouge à transmission et les spectres associés, nous permet de confirmer la phase argileuse prédominante qui est ici l'**Illite** (Figure V.2.4.5). La reconnaissance se fait selon les attributions proposées par Van Olphen et Fripiat, (1979). Cette argile montre principalement la contribution de la bande à 3627 cm^{-1} signe de l'élongation des protons de groupes O-H en environnement 2Al^{3+} . La bande large vers 3425 cm^{-1} caractérise l'élongation des protons de l'eau moléculaire. Les bandes à 759, 757, 754,

696, 645 et 635 cm^{-1} , la bande à 1012 cm^{-1} est l'élongation de SiO. Nous pouvons penser à une présence de kaolinite dans le spectre de la [figure V.2.4.5](#).

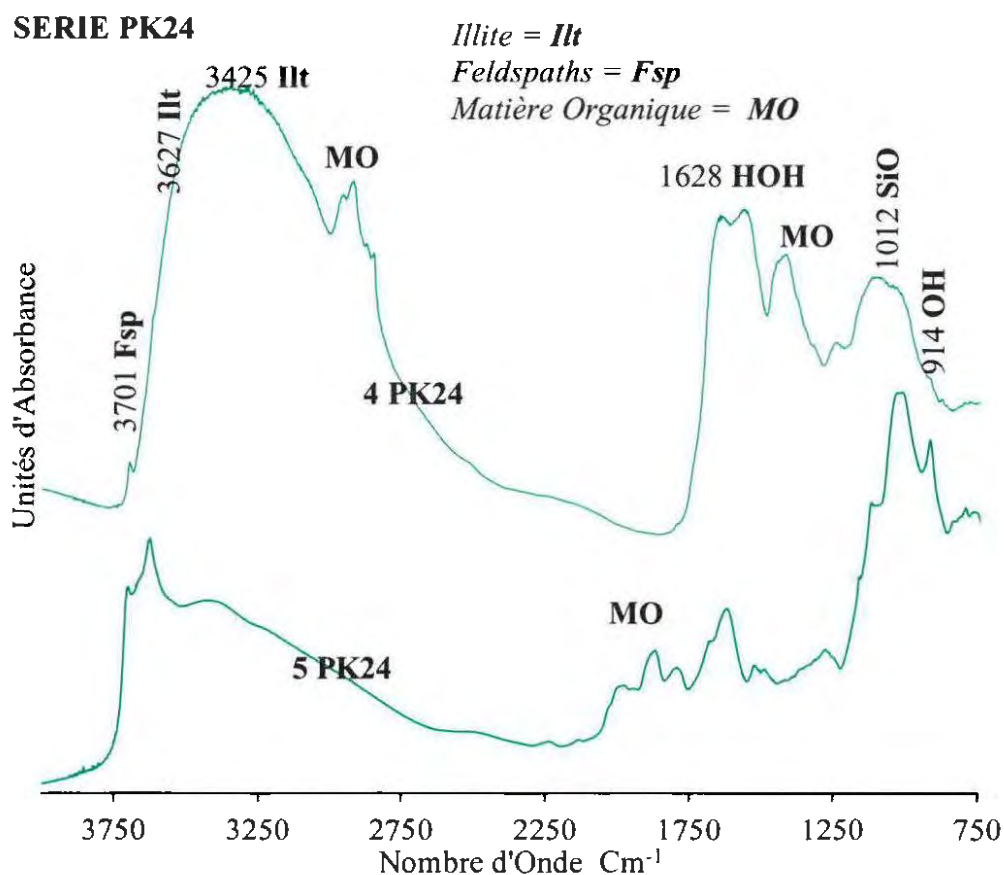


Figure V.2.4.5 : Spectres infrarouge à Transformée de Fourier de matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa sur roche totale

V.2.4.6. Analyse au MEB et EDX de la série PK24 sur roche totale du District d'Essassa

La [figure V.2.4.6](#), de la série PK24 montre dans sa morphologie de l'illite écaillée, de l'oxyde de titane. L'EDS associé, fait état d'un matériau composé d'éléments en traces comme le magnésium (1.24%) et l'oxyde de fer présent en pourcentage acceptable dans la série ([Tableau V.2.4.7](#)).

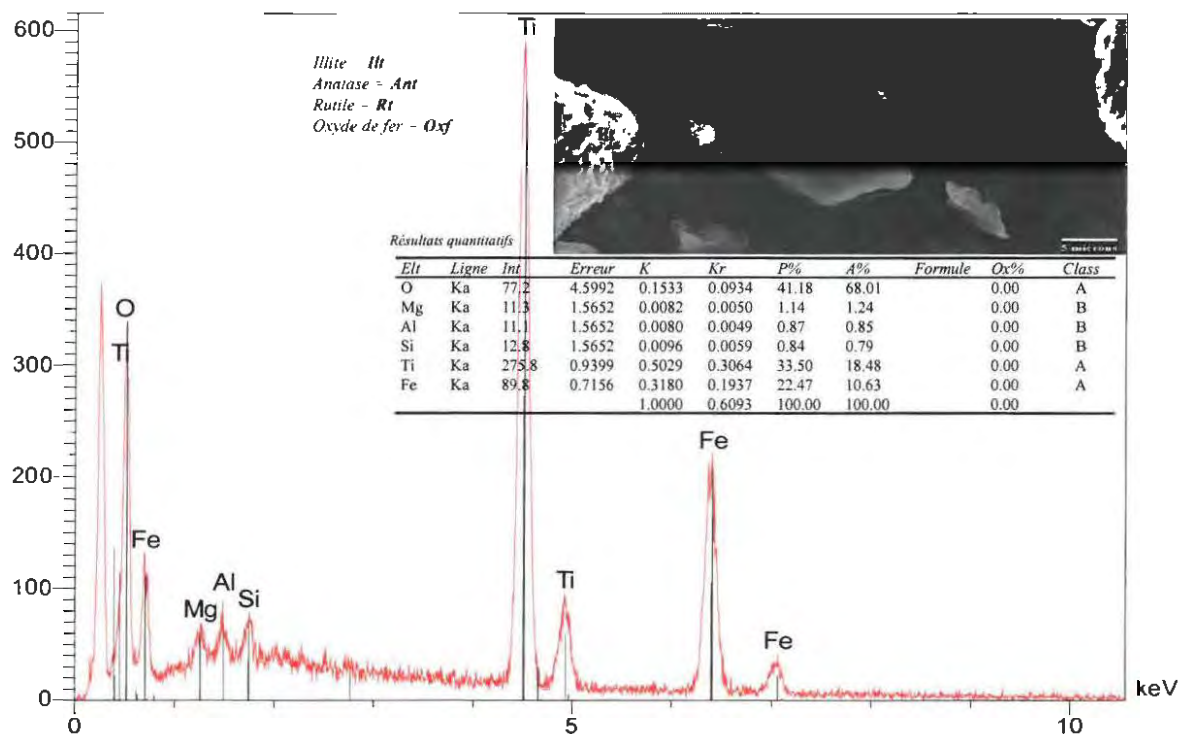


Figure V.2.4.6 : Vue au MEB et EDS des matériaux minéraux argileux de la série PK24 sur roche totale du district d'Essassa

V.2.4.7. Teneurs massiques des minéraux dans les différents matériaux de la série PK24

L'illite est le minéral argileux le plus abondant au vu des résultats en DRX sur lame normale et orientée de la série PK24 (Tableau V.2.4.7). Mais la possibilité de présence de kaolinite amorphe n'est pas écartée. Dans la fraction argileuse. La teneur moyenne en illite est de 28,8%, c'est le minéral argileux essentiel. La teneur moyenne en quartz est de 63,5%. Les minéraux accessoires sont l'hématite (4,4%), les oxydes de titane (0,89%) et le microcline (1,15%). Les minéraux ici qualifiés de trace sont ceux ayant des pourcentages dits Autres (1,1%).

Tableau V.2.4.7 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux argileux de la série PK24

Série	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
PK24	4 PK24	Illite	$K_{0,65}Al_2Al_{0,65}Si_{3,35}O_{10}(OH)_2$	33,53	98,33
		Quartz	SiO_2	59,66	
		Rutile	TiO_2	0,63	
		Anatase	TiO_2	0,63	
		Microcline	$KAlSi_3O_8$	1,34	
		Oxydes de Fer	$Fe(OH)_3$	3,17	
		Autres			1,67
	5 PK24	Illite	$K_{0,65}Al_2Al_{0,65}Si_{3,35}O_{10}(OH)_2$	23,99	99,48
		Quartz	SiO_2	67,41	
		Microcline	$KAlSi_3O_8$	0,96	
		Rutile	TiO_2	1,42	
		Oxydes de Fer	$Fe(OH)_3$	5,69	
		Autres			0,52

Les calculs des teneurs massiques des minéraux (tableau V.2.4.7), oriente vers une reconstitution des pourcentages approximatifs des oxydes des phases monominérales caractéristiques des argiles présents dans la série PK24, suivant le modèle développé en IV.3.3 du chapitre IV de ce manuscrit de thèse.

Les pourcentages des oxydes des minéraux cardinaux argileux reconstitués dans la série PK24 par échantillon sont :

4PK24:

Illite: $Al_2O_3 = 26,49 \%$; $SiO_2 = 39,47 \%$; $K_2O = 6,00 \%$

5PK24:

Illite: $Al_2O_3 = 22,87 \%$; $SiO_2 = 34,08 \%$; $K_2O = 5,18 \%$

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales argileuses calculées contextualisés dans la série PK24 sont :

4PK24:

Illite: $Al_2O_3 = 11,26 \%$; $SiO_2 = 50,11 \%$; $K_2O = 2,57 \%$

5PK24:

Illite: $Al_2O_3 = 10,90 \%$; $SiO_2 = 41,59 \%$; $K_2O = 2,22 \%$

V.2.5. Argile de Massika (Série MKA1)

Les matériaux minéraux argileux de la série MKA1 ont des capacités d'échanges cationiques de 13,32 meq/100g pour 6MKA1, 10,04 meq/100g pour 7 MKA1, 19,28 meq/100g pour 8MKA1 et de 13,41 meq/100g pour 9MKA1. Ces capacités d'échanges cationiques se situent dans l'intervalle des capacités d'échanges cationiques des minéraux argileux purs à illite dominant pour toute la série MKA1, à CEC moyen se situant entre 10 et 40 meq/100g (Morel, 1996 ; Brady et Weil, 2008 ; Girard *et al.*, 2011).

V.2.5.1. Granulométrie des matériaux des sols argileux de la série MKA1

Cette répartition révèle des particules moyennes à fines dans les arénites et pélites des matériaux 6 MKA1, 7 MKA1, 8MKA1 et 9 MKA1 avec 333,4 μm pour une population moyenne de 99 % de diamètre en grains. Selon Chamley et Deconinck (2011), les matériaux de la série MKA1 appartiennent au groupe des arénites et pélites avec une fraction sableuse fine à très fine du côté arénites pour une fraction grossière à fine du côté pélites dans l'ensemble de la série. Les médianes de distribution pour les échantillons 6MKA1, 7MKA1, 8MKA1 et 9MKA1 sont respectivement de 81,5, 12,0, 30,7 et 18,9 μm . La détermination de l'asymétrie (index *ski*) indique la dominance des particules fines. Les quatre échantillons ont donc une asymétrie positive de +1,07 pour 6MKA1, +1,03 pour 7MKA1, +1,16 pour 8MKA1 et +1,17 pour 9MKA1 (Tableau V.2.1.2). Dans la classification définie par l'asymétrie, le matériau de la série MKA1 est classé dans la zone de forte asymétrie vers les petites tailles. Les valeurs de dispersion des tailles (ϕ_i) de 124,1 pour 6MKA1, 105,6 pour 7MKA1, 51,9 pour 8MKA1 et 25,7 pour 9MKA1 montrent que les grains de la série MKA1 sont très mal classés (Figure V.2.5.1) selon Chamley et Deconinck, (2011) qui indiquent la valeur de ϕ_i encadrée entre 2,00 et 4,00 pour les grains très mal classés soit $2,00 < \phi_i < 4,00$.

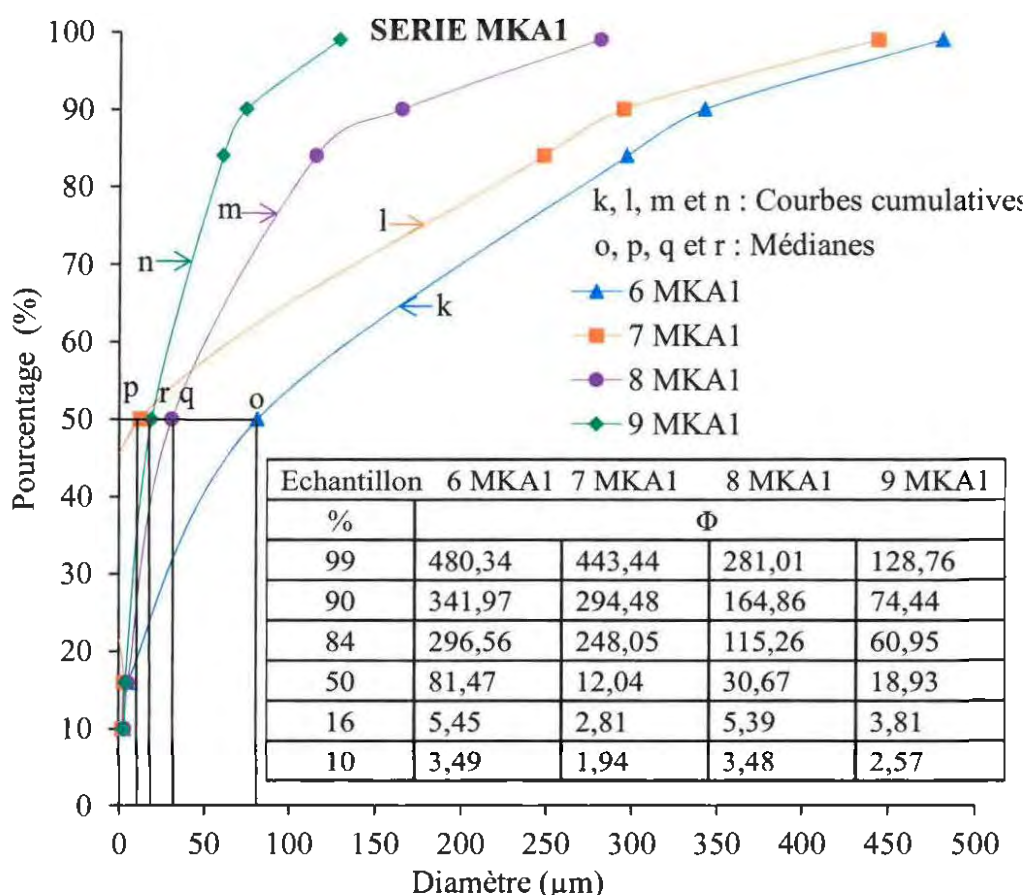


Figure V.2.5.1 : Analyse Granulométrique des matériaux argileux de la série MKA1 du district de Massikal

V.2.5.2. Analyse chimiques des sols argileux de la série MKA1

Les matériaux minéraux de la série MKA1 présentent des caractères principaux des horizons de couleur des horizons bruns à rouge bariolé dans l'ensemble de la plage montrant un aspect rouge sombre (Figure V.1.1.3). Le rapport moyen de % SiO_2 / % Al_2O_3 est de 4,34 sur roche totale (Tableau V.2.5.2), supérieur à 2, ce qui permet de dire que les sédiments des matériaux MKA1 sont hérités (Legros, 2007) et matures selon Potter (1978). Les échantillons 6MKA1, 7MKA1, 8MKA1 et 9MKA1 ont des indices d'altérabilité chimique (CIA) qui sont de 5,13 pour 6MKA1, 5,93 pour 7MKA1, 2,77 pour 8MKA1 et 2,10 pour 9MKA1 (Tableau V.2.2.2). Les indices d'altérabilités chimiques respectifs ont des valeurs inférieures à 12 % (Campy *et al.*, 2013), ce qui peut expliquer la présence de feldspaths. Cela est complété par la présence des minéraux argileux dans les matériaux de la série MKA1 à fort pourcentage moyen de Kaolinite (8,0 %), Illite (31,1 %) et Montmorillonite (16,6 %) (Tableau V.2.3.7).

Tableau V.2.5.2 : Analyse chimique des matériaux argileux de la série MKA1

Echantillons	% Na ₂ O	% K ₂ O	% CaO	% MgO	% Fe ₂ O ₃	% Al ₂ O ₃	% SiO ₂	% MnO	% P.A.F	TOTAL
6 MKA1	0,07	2,16	<0,01	0,40	0,56	13,13	78,82	<0,01	4,44	99,59
7 MKA1	0,07	2,32	<0,01	0,34	0,92	11,31	81,22	0,02	3,76	99,95
8 MKA1	0,05	2,84	0,07	1,23	4,20	20,49	64,88	<0,01	6,97	100,73
9 MKA1	0,23	7,95	0,01	1,47	6,07	19,90	58,85	0,02	5,51	100,01

V.2.5.3. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la série MKA1

Ici sont mentionnés les raies basales (principales) repérées dans les diffractogrammes de la série MKA1 pour les espèces argileuses cardinales présentes dans la série comme suit : 9,98 Å pour l'illite proche de l'illite parfaite (10Å), 7,18 Å pour la kaolinite proche de la kaolinite parfaite (7 Å), 15,41 Å pour la montmorillonite proche d'une montmorillonite parfaite (15 Å). Selon les données de la diffraction-X en poudre de roche totale désorientée, les matériaux minéraux du district Massika sont principalement composé de quartz, illite, montmorillonite (smectite), kaolinite, bernalite, hématite, accessoirement de l'augite, Microcline, thermonatrite, orthose, muscovite, albite, ankérite et les traces non identifiées appelé autres (Tableau V.2.5.7). Les matériaux minéraux de la série MKA1 sont composés des minéraux argileux et de quartz (Figure V.2.5.3). Les équidistances de minéraux principaux (illite, kaolinite, montmorillonite et quartz) et accessoires (oxydes et hydroxydes de fer) sont mentionnées dans la Figure V.2.5.3 comme suit :

Illite repérée à 9,98 Å ; 3,30 Å ; 4,45 Å ;

Montmorillonite repérée à 15,41 Å ; 4,47 Å ;

Kaolinite repérée à 7,18 Å ; 4,47 Å ; 3,58 Å ; 2,57 Å ; 2,34 Å ;

Quartz repéré à 3,34 Å ; 4,26 Å ; 2,46 Å ; 2,28 Å ; 2,24 Å ; 2,13 Å ; 1,98 Å ; 1,81 Å ;

Orthose repérée à 4,22 Å ; 3,25 Å ; 2,90 Å ;

Microcline repéré à 4,22 Å ; 3,25 Å ; 2,90 Å ;

Muscovite repérée à 9,98 Å ; 4,99 Å ; 2,57 Å ;

Augite repérée à 3,22 Å ; 2,99 Å ;

Hématite repérée à 2,70 Å ; 2,52 Å ;

Albite repérée à 6,50 Å ; 3,19 Å ;

Bernalite repérée à 3,79 Å ;

Ankérite repérée à 2,90 Å ;

Thermonatrite 2,77 Å ; 2,37 Å.

Nous signalons au passage que la réflexion à 4,45Å et commune à tous les phyllosilicates, car c'est la bande de diffusion (02. 11.).

SERIE MKA1

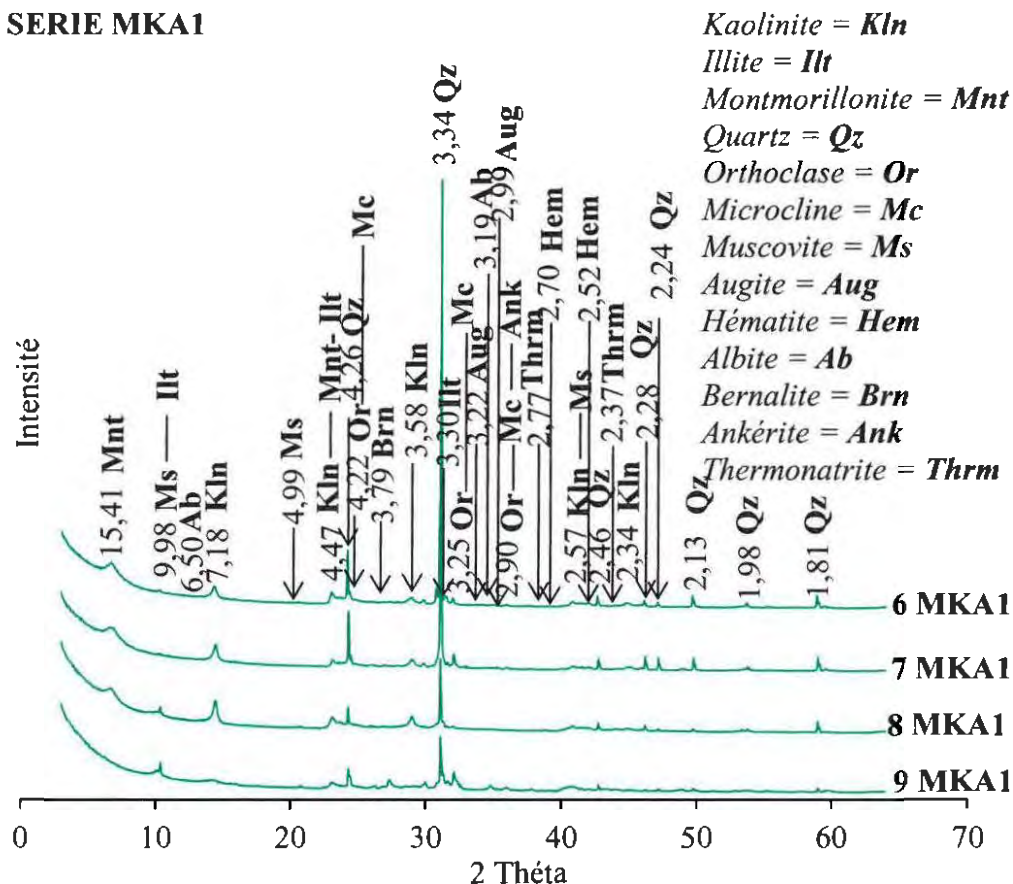


Figure V.2.5.3 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série MKA1 du district de Massikal

V.2.5.4. Diffraction des Rayons X de la série MKA1 (Massika) sur lames orientées, à l'Ethylène Glycol et chauffée à 550°C

Comme on pouvait s'y attendre, les données sur poudres orientées des fractions fines extraites montrent que la kaolinite est répartie dans les minéraux non identifiés (Autres). L'hématite est quasi absente des fines, donc répartie dans les fractions grossières. Dans la série MKA1, les minéraux présents après le second traitement sont identifiés suivant les pics caractéristiques (Figure V.2.5.4) :

Kaolinite identifié à 7,17 Å ; 4,48 Å ; 3,58 Å ;
 Illite identifié à 10,07 Å ; 5,00 Å ; 3,35 Å ;
 Montmorillonite identifiée à 17,14 Å ; 12,78 Å ; 10,07 Å ;
 Quartz identifié à 3,35 Å ; 4,25 Å ;
 Orthose identifiée à 4,22 Å ; 3,79 Å ; 3,32 Å ; 3,25 Å ;
 Rutile identifié à 3,32 Å ; 3,25 Å.

Le matériau MKA1, a comme principales phases argileuses après traitement à l'éthylène glycol et chauffé à 550°C : l'Illite, la kaolinite et la montmorillonite (Thorez, 1975). La présence de rutile dans la série MKA1 peut signifier que les argiles proviennent de l'altération des roches cristallines (Moinereau, 1977). L'hydrolyse suffit à provoquer la désagrégation partielle des roches préexistantes où la transformation des minéraux primaires s'expliquant

par la présence de minéraux hérités dans la roche argileuse ou le sédiment final porte la mémoire des roches mères Gibbs (1967). La nature de couleur brune à rouge bariolé pour la série MKA1 (Figure V.1.1.3) témoigne de l'altération des roches ferrallitiques. La couleur sombre du sol illustre le type de faciès. Les pics caractéristiques de la kaolinite restent intacts en lame normale et à l'éthylène glycol puis disparaissent à 550°C c'est-à-dire à 7,17 Å. Ceux de l'illite, sont conservés dans les trois cas, lame normale, à l'éthylène glycol puis à 550°C soit 10,07 Å pour ne citer que les pics principaux. En revanche, la réflexion principale de la montmorillonite, en lame normale se trouve à 12,78 Å, à l'éthylène glycol il est à 17,14 Å et à 550°C se rabat à 10,07 Å. L'équidistance à 12,78 Å, pourrait être aussi celle de la forme homoionique de sodium. Le matériau MKA1 est un complexe dominé par les minéraux argileux de type: illite, montmorillonite et kaolinite associé au quartz et à deux minéraux caractéristiques, la thermonatite et l'ankérite. Cette série, très différente des autres, renferme des multiples phases que nous pouvons qualifier d'argileux-quartzeux-thermo-ankérite (AQTA). Les teneurs moyennes les matérialisant sont pour l'illite 31,1 % ; la Montmorillonite 16,6 % ; la Kaolinite 8,0 % ; le Quartz 42,5 % ; la Thermonatite 0,56 % et l'Ankérite 0,028 % Nous considérons le pourcentage de l'ankérite, en dessous du seuil de détection (Tableau V.2.5.7).

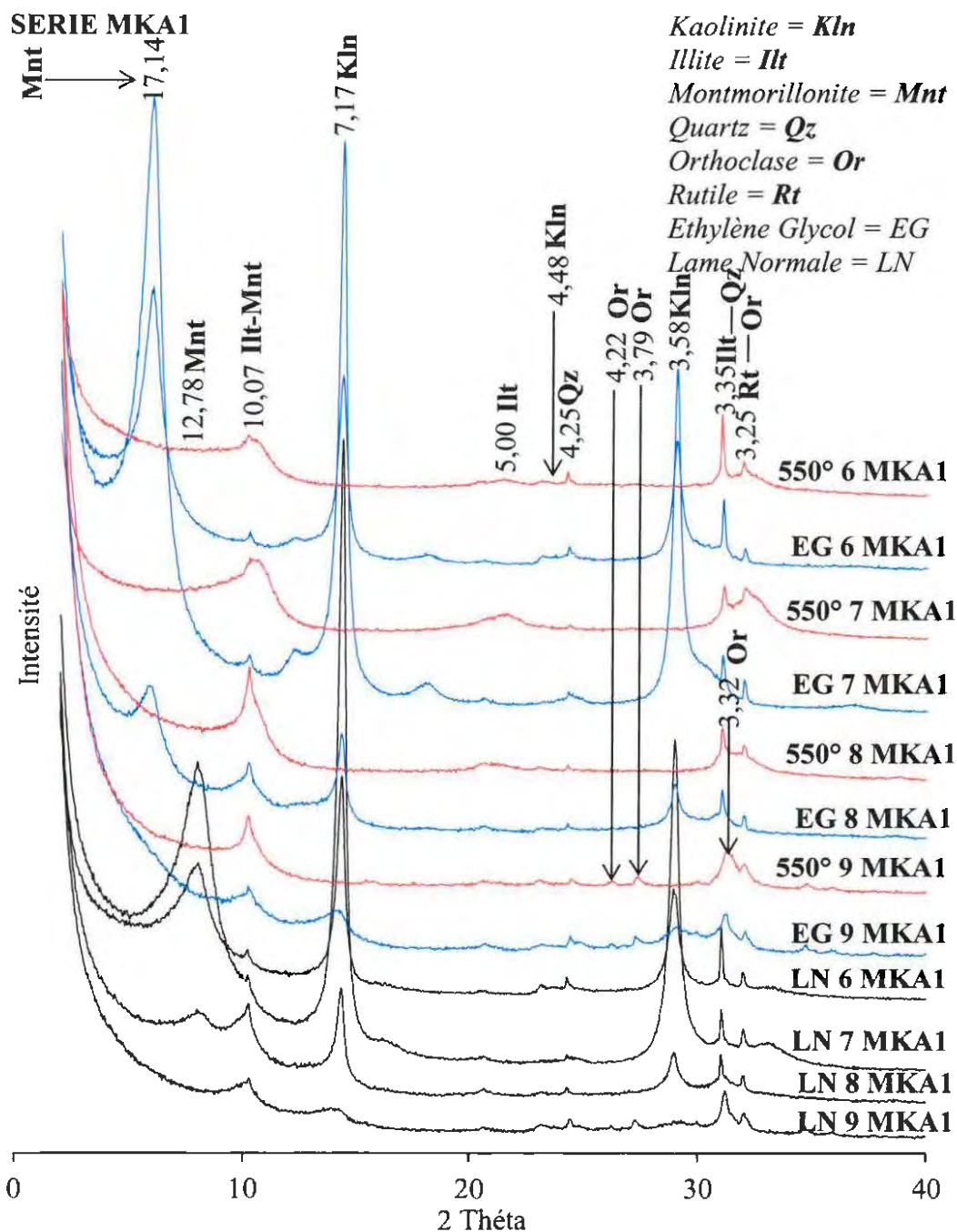


Figure V.2.5.4 : Diffractogrammes-X de matériaux argileux de la série MKA1 du district de Massikal sur lames orientées : Normale, à l'Ethylène Glycol et chauffée à 550°C

V.2.5.5. Spectroscopie Infrarouge à Transformée de Fourier de la série MKA1

Dans cette série, l'analyse a conduit à l'identification des principales phases argileuses présentes dans les matériaux à partir des valeurs des nombres d'ondes (Figure V.2.5.5). Les phases argileuses prédominantes pour cette série sont l'illite, la montmorillonite et la kaolinite. L'illite se caractérise par la bande d'élongation des protons structuraux en environnement octaédrique aluminium-aluminium-lacune vers 3620 cm^{-1} ; vers 3431 cm^{-1} on observe l'élongation des protons dans l'eau moléculaire. La résonance à 3580 cm^{-1} peut

expliquer une élévation des OH associés à l'occupation octaédrique Al^{3+} - Fe^{3+} -lacune. Vers 1630 cm^{-1} , on observe la déformation angulaire de la molécule d'eau. Le massif vers 1020 cm^{-1} témoigne de l'élévation de SiO ; à $827, 838, 843$ et 844 cm^{-1} déformation des OH suivie de la liaison Al^{3+} et Mg^{2+} . Les bandes à 794 et 627 cm^{-1} révèlent les impuretés. L'absence de la bande à 1430 cm^{-1} confirme l'absence de carbonates dans les matériaux MKA1.

La Montmorillonite (smectite) montre une bande d'élévation des protons structuraux à 3628 cm^{-1} . La bande large à 3427 cm^{-1} correspond à l'élévation du proton dans l'eau moléculaire cette attribution est confortée par la bande de déformation angulaire de la molécule d'eau à 1635 cm^{-1} . L'absence de la bande à 1430 cm^{-1} témoigne de l'absence de carbonates. Le massif centré sur 1000 cm^{-1} correspond aux élévations Si-O. A 844 cm^{-1} on observe la déformation -OH.

La kaolinite, est identifiée suivant les bandes à $3697, 3670, 3651$ et 3620 cm^{-1} correspondant aux élévations des OH structuraux. A 1637 cm^{-1} on observe la déformation angulaire HOH. L'absence de la bande à 1430 cm^{-1} , signifie, une fois de plus, le manque des carbonates. Le massif centré sur 1000 cm^{-1} correspond aux élévations Si-O. La déformation de OH se situe à 914 cm^{-1} .

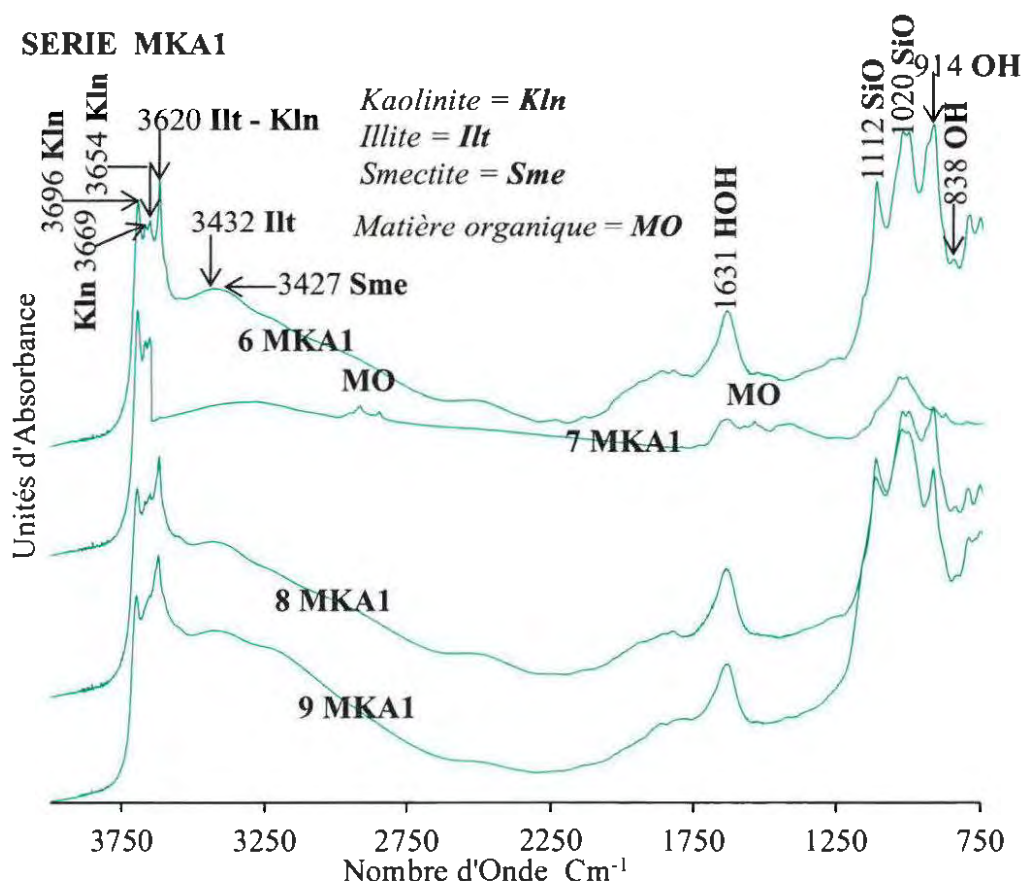


Figure V.2.5.5 : Spectres infrarouge à Transformée de Fourier de matériaux argileux de la série PK24 du district de Massika1 sur roche totale

V.2.5.6. Analyse par MEB et EDX de la série MKA1 sur roche totale du District de Massika

La figure V.2.5.6.1, de la série MKA1 montre dans sa morphologie une montmorillonite compacte en forme de géode et aux abords du relief pseudomorphe. L'EDS associé, fait état d'un matériau composé des éléments atomiques comme le soufre (0,45%). Dans la [figure V.2.5.6.2](#), une belle illite au centre de la plage avec une intrusion de fer (hématite) longitudinal. Pour le même relief, de la [figure V.2.5.6.2](#) une montmorillonite à l'extrême nord-est de forme arrondie, au sud-est une kaolinite noyée dans le relief prospecté. Les proportions des minéraux en termes de représentativité sont dans le [Tableau V.2.5.7](#).

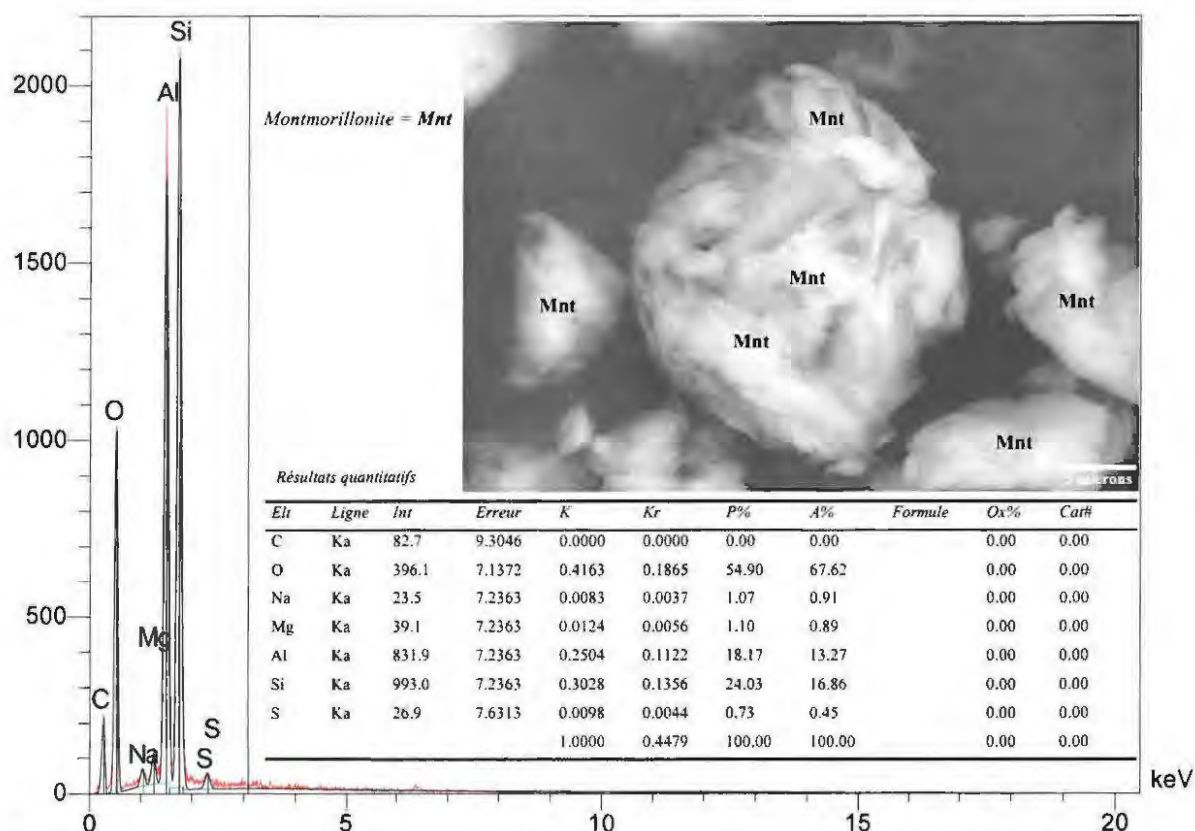


Figure V.2.5.6.1 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux de la série MKA1 sur roche totale du district de Massikal montrant une montmorillonite

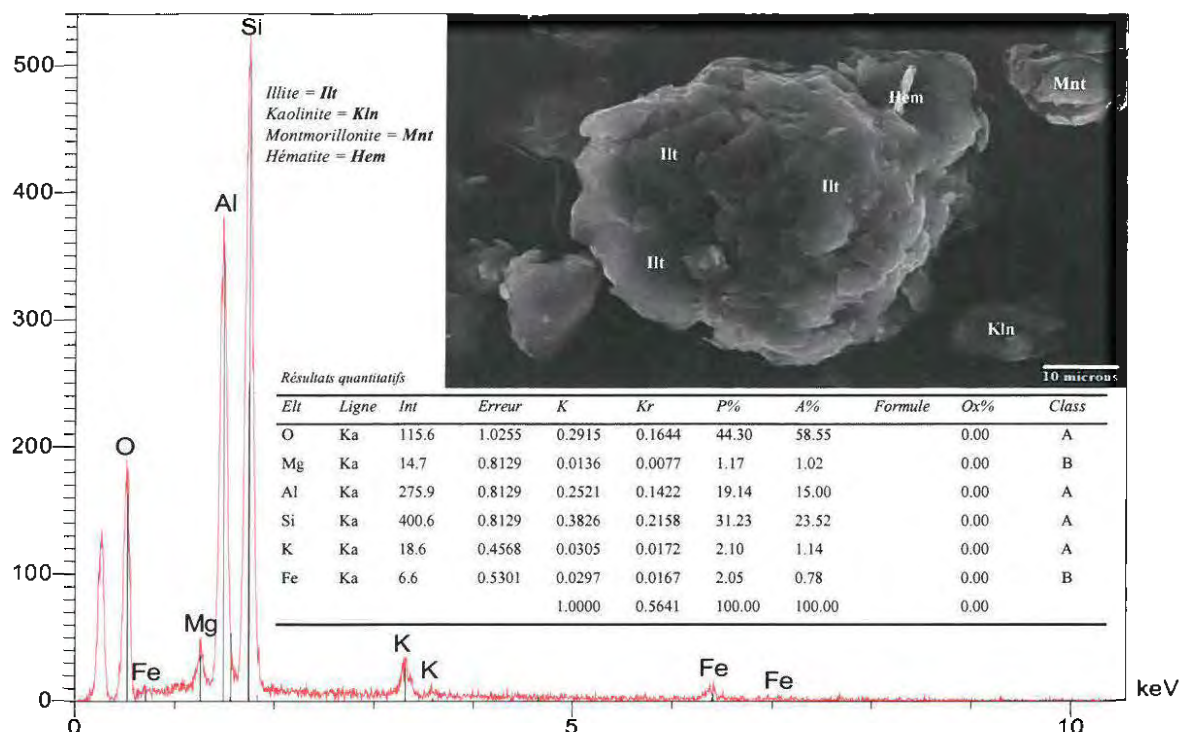


Figure V.2.5.6.2 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux de la série MKA1 sur roche totale du district de Massika1 montrant la montmorillonite, l’illite, la kaolinite et l’hématite

V.2.5.7. Teneurs massiques des minéraux dans les différents matériaux de la série MKA1

Les principaux minéraux argileux qui composent la série MKA1 sont la kaolinite, l’illite et la smectite ([Tableau V.2.5.7](#)). Dans la fraction argileuse, les pourcentages moyens des teneurs en illite, montmorillonite et kaolinite sont respectivement de 31,1 16,5 et 8,0%, le quartz est aussi un minéral majeur (42,5%). Les minéraux Bernalite, Hématite, Augite, Microcline, Thermonatrite, Orthose, Muscovite, Albite, Ankérite et les traces non identifiées appelé Autres sont mentionnés dans le [tableau V.2.5.7](#). Les minéraux qualifiés de « traces » sont ceux dont l’abondance est inférieure à 0,6%.

Tableau V.2.5.7 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux argileux de la série MKA1

Série	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
MKA1	6 MKA1	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	3,61	
		Illite	$\text{K}_{0,65}\text{Al}_2\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	27,17	
		Smectite	$\text{Mg}_{(6-x-y)}\text{Fe}_y\text{Al}_x(\text{Si}_{(4-x)}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	11,06	99,80
		Quartz	SiO_2	56,16	
		Rutile	TiO_2	1,25	
		Orthose	KAlSi_3O_8	0,54	
		Autres			0,20
	7 MKA1	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	1,39	
		Illite	$\text{K}_{0,65}\text{Al}_2\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	29,18	
		Smectite	$\text{Mg}_{(6-x-y)}\text{Fe}_y\text{Al}_x(\text{Si}_{(4-x)}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	4,60	99,60
		Quartz	SiO_2	63,53	
		Rutile	TiO_2	0,32	
		Microcline	KAlSi_3O_8	0,58	
		Autres			0,40
	8 MKA1	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	16,03	
		Illite	$\text{K}_{0,65}\text{Al}_2\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	17,86	
		Smectite	$\text{Mg}_{(6-x-y)}\text{Fe}_y\text{Al}_x(\text{Si}_{(4-x)}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	34,02	
		Quartz	SiO_2	25,79	
		Rutile	TiO_2	0,54	99,20
		Muscovite	$\text{Si}_3\text{AlO}_{10} \text{Al}_2(\text{OH})_2\text{K}$	0,36	
		Microcline	KAlSi_3O_8	0,32	
		Augite	$\text{Ca}_{0,9}\text{Na}_{0,1}\text{Mg}_{0,9}\text{Fe}^{2+}_{0,2}\text{Al}_{0,4}\text{Ti}_{0,1}\text{Si}_{1,9}\text{O}_6$	0,08	
		Hématite	Fe_2O_3	4,20	
		Autres			0,80
	9 MKA1	Kaolinite	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	10,97	
		Illite	$\text{K}_{0,65}\text{Al}_2\text{Al}_{0,65}\text{Si}_{3,35}\text{O}_{10}(\text{OH})_2$	50,00	
		Quartz	SiO_2	24,70	
		Muscovite	$\text{Si}_3\text{AlO}_{10} \text{Al}_2(\text{OH})_2\text{K}$	0,00	
		Microcline	KAlSi_3O_8	1,00	99,13
		Orthose	KAlSi_3O_8	0,22	
		Albite	$\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$	0,22	
		Augite	$\text{Ca}_{0,9}\text{Na}_{0,1}\text{Mg}_{0,9}\text{Fe}^{2+}_{0,2}\text{Al}_{0,4}\text{Ti}_{0,1}\text{Si}_{1,9}\text{O}_6$	3,33	
		Bernalite	$\text{Fe}(\text{OH})_3$	8,11	
		Ankérite	$\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$	0,03	
		Thermonatrite	$\text{Na}_2\text{CO}_3(\text{H}_2\text{O})$	0,56	
		Autres			0,87

Les teneurs massiques des minéraux calculés (tableau V.2.5.7), permettent de reconstituer les pourcentages approximatifs des oxydes des phases monominérales caractéristiques des argiles présents dans la série MKA1 à partir du modèle développé en IV.3.3 du chapitre IV de ce manuscrit de thèse. Les pourcentages des oxydes des minéraux cardinaux argileux calculés dans la série MKA1 par échantillon sont :

6MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 19,22 \%$; $SiO_2 = 28,63 \%$; $K_2O = 4,35 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 1,96 \%$; $SiO_2 = 2,38 \%$;

Smectite: $Al_2O_3 = 4,95 \%$; $SiO_2 = 13,97 \%$; $Na_2O = 0,60 \%$; $MgO = 0,77 \%$

7MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 22,73 \%$; $SiO_2 = 33,87 \%$; $K_2O = 5,15 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,89 \%$; $SiO_2 = 1,05 \%$;

Smectite: $Al_2O_3 = 2,31 \%$; $SiO_2 = 6,53 \%$; $Na_2O = 1,33 \%$; $MgO = 0,36 \%$

8MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 9,32 \%$; $SiO_2 = 13,88 \%$; $K_2O = 2,11\%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 6,32 \%$; $SiO_2 = 7,45 \%$;

Smectite: $Al_2O_3 = 11,1 \%$; $SiO_2 = 31,35 \%$; $Na_2O = 1,33 \%$; $MgO = 1,74 \%$

9MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 26,18 \%$; $SiO_2 = 39,00 \%$; $K_2O = 5,93 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 4,47 \%$; $SiO_2 = 5,26 \%$

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales argileuses calculées contextualisés dans la série MKA1 sont :

6MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 9,61 \%$; $SiO_2 = 35,79 \%$; $K_2O = 2,09 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,98 \%$; $SiO_2 = 2,89 \%$;

Smectite: $Al_2O_3 = 2,47 \%$; $SiO_2 = 17,46 \%$; $Na_2O = 0,07 \%$; $MgO = 0,4 \%$

7MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 9,85 \%$; $SiO_2 = 43,01 \%$; $K_2O = 2,25 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,39 \%$; $SiO_2 = 1,34 \%$;

Smectite: $Al_2O_3 = 1,00 \%$; $SiO_2 = 8,29 \%$; $Na_2O = 0,07 \%$; $MgO = 0,34 \%$

8MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 7,07 \%$; $SiO_2 = 15,24 \%$; $K_2O = 2,69 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 4,79 \%$; $SiO_2 = 8,18 \%$;

Smectite: $Al_2O_3 = 8,42 \%$; $SiO_2 = 34,43 \%$; $Na_2O = 0,05 \%$; $MgO = 1,23 \%$

9MKA1:

Illite: $Al_2O_3 = 16,67 \%$; $SiO_2 = 43,78 \%$; $K_2O = 7,63 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 2,85 \%$; $SiO_2 = 5,90 \%$

V.2.6. Prévision des retraits au séchage dans le sens de la longueur et de la largeur des matériaux minéraux argileux de Libreville et de ses environs

Les retraits de séchage sont associés aux caractères être riche en smectites et présenter une forte CEC (Balavoine, 2002). Dans les matériaux minéraux argileux de Libreville et de ses environs, les matériaux sont regroupés en séries et toutes les séries argileuses de ces matériaux ne présentent pas systématiquement des phases argileuses gonflantes aux différents traitements en Diffractions aux Rayons X en roche totale comme en lame orientée. Dans la prévision au retrait de séchage, nous privilégions les oxydes d'aluminium et de sodium en application au modèle développé par (Balavoine, 2002) définie comme suit :

$$R_{sec} = (0.12 \times CEC) - (0.19 \times Al_2O_3) - (0.18 \times albite) + 7.88 \quad R=0.940$$

78%12%3%

Pour la série PK14 : 1 PK14 : $R = 0,065$; 2 PK14 : $R = 0,063$

Pour la série PK24 : 4 PK24 : $R = 0,071$; 5 PK24 : $R = 0,071$

Pour la série MKA1 : 6 MKA1 : $R = 0,069$; 7 MKA1 : $R = 0,069$; 8 MKA1 : $R = 0,063$; 9 MKA1 : $R = 0,057$.

V.3. Lithostratigraphie des formations du bassin côtier Gabonais et Localisation des argiles de Libreville dans les groupes correspondants

La région de Libreville est située dans le bassin sédimentaire côtier du Gabon, précisément dans le bassin intérieur (Chevallier *et al.*, 2002) qui est séparé des bassins atlantiques oriental et occidental par le horst de Lambaréné. Selon la notice explicative de la carte géologique du Gabon au 1/1.000.000, les formations sédimentaires de Libreville et de la bande affleurant à l'Est et au Nord-Est correspondent aux groupes sédimentologiques présentés en figure V.3 se suivent comme suit...

- **Le groupe d'Agoula** daté du Permien, reposant sur le socle, a une épaisseur maximale d'environ 400 m, caractérisé par le dépôt des séries détritiques argileuses à gréseuses, dont la base comprend un conglomérat polygénique (Teisserenc et Villemain, 1990).
- **Le groupe de M'Vone** daté du Jurassique, fait suite au Permien (pas de Trias ?), d'une épaisseur variant de 200 m au Nord à 300 m au Sud, il repose sur celui de l'Agoula est caractérisé par du grès aux argiles, avec présence de niveaux conglomératiques à la base Thomas *et al.*, (2001), Prian *et al.*, (2009a et b) et Chevallier *et al.*, (2002).
- **Le groupe de N'Dombo** d'âge Néocomien inférieur (Berriasien) d'après Guiraud et Maurin (1991). Ce groupe reposant sur celui de M'Vone, est représenté par un ensemble essentiellement sablo-gréseux à localement conglomératique dont l'épaisseur décroît d'environ 300 m au Nord à 150 m au Sud. Des intercalations de nombreuses croûtes ferrugineuses sont mentionnées par Chevallier *et al.*, (2002). Dans ce groupe de N'Dombo, sur lequel se dépose le groupe de Cocobeach, se trouvent les séries MGC et MCO des matériaux minéraux argileux de Mengo et de Mefazé. Dans ces séries des argiles, la présence des minéraux hérités à muscovite et albite respectivement à des teneurs massiques moyennes de 0,36 % pour la muscovite et 0,64 % pour l'albite est indicative de minéraux issus des granitoïdes altérés du socle (Figure V.3). En terme d'appartenance, outre la littérature, nous ajoutons à ce groupe de N'Dombo les minéraux trouvés dans les séries MGC et MCO dont les teneurs moyennes sont proposées par Boulingui *et al.*, (2015). Suivant les deux série MGC et MCO, une liste des minéraux recensés est présentée comme suit : Kaolinite (24,6 %), Illite (2,4 %), Quartz (68,6 %), Hématite (3,63 %) pour la série MGC ; Kaolinite (25,2 %), Illite (15,22 %), Chlorite (3,51 %), Quartz (51,7 %), Muscovite (0,64 %), Albite (0,36), Lépidochrome (8,3 %), Anatase (0,9 %) pour la série MCO. A cette liste s'ajoutent des minéraux dits Autres non identifiés qui auraient des teneurs moyennes de 0,75 % pour la série MGC et 1,8 % pour la série MCO.
- **Le groupe de Cocobeach** daté du Néocomien au Barrémien, d'une épaisseur pouvant atteindre 6000 m, représente l'ensemble le plus puissant du Phanérozoïque gabonais, mais n'est connu à l'affleurement que dans le bassin intérieur. Il est divisé en un certain nombre de formations et membres dont certains points essentiels sont mentionnés par Chevallier *et al.*, (2002). Ce groupe est caractérisé par une lithologie

définie par l'alternance de sédiments plus ou moins fins (grès à argiles) et plus ou moins carbonatés (argiles carbonatées, marnes, carbonates) (Chevallier *et al.*, 2002). Globalement, la période pré- à syn-rift se caractérise par la succession de trois stades qui sont le stade pré-rift groupe de l'Agoula et groupe de M'Vone, le stade syn-rift de la série de N'Dombo et le stade de l'épisode de surrection du barrémien supérieur (Prian *et al.*, 2009a-b). Dans le Cocobeach, un bassin syn-à post-rift ainsi défini comprend une formation : N'Zémé Asso- Grès de la Remboué, et quatre groupes (Madiéla, Sibang, Anguille, et Mandji), dont le dernier est divisé en deux unités (Ikando et Ozouri-Animba-N'gola). Les séries MGC et MCO des matériaux minéraux argileux de Mengo et de Mefazé, sont à cheval entre les formations du groupe de N'Dombo et celles de Cocobeach. A ce titre, les minéraux trouvés dans les séries MGC et MCO auxquels nous associons les teneurs massiques moyennes calculées (Boulingui *et al.*, (2015) trouvés dans les formations de N'Dombo sont aussi présents dans le groupe de Cocobeach puisque le groupe de Cocobeach englobe celui de N'Dombo (Chevallier *et al.*, 2002). La liste des minéraux recensés est présentée comme suit : kaolinite (24,6 %), illite (2,4 %), quartz (68,6 %), hématite (3,6 %) pour la série MGC ; Kaolinite (25,1 %), illite (15,2 %), chlorite (3,51 %), quartz (51,7 %), muscovite (0,64 %), albite (0,36 %), lèpidocrocite (8,3 %), anatase (0,9 %) pour la série MCO. A cette liste s'ajoutent des minéraux dits Autres non identifiés qui auraient des teneurs moyennes globales de 0,75% pour la série MGC et 1,8 % pour la série MCO. A cette liste, ajoutons la liste des matériaux minéraux associés à des teneurs moyennes de la série MKA1 du district de Massika suivant les informations du tableau V.2.5.7 : kaolinite (8,0 %), illite (31,0 %), Montmorillonite (16,6 %), Quartz (42,5 %), rutile (0,7 %), orthose (0,38 %), microcline (0,63 %), muscovite (0,18 %), augite (1,70 %), hématite (4,2 %), albite (0,22 %), bernalite (8,1 %), ankérite (0,03 %), thermonatrite (0,56 %), Autres (0,57 %).

- **Le groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué** daté de l'aptien inférieur, d'une épaisseur estimée entre 50 et 200 m selon les secteurs (Chevallier *et al.*, 2002). Un trait caractéristique est la présence de conglomérats à galets de granitoïdes souvent décimétriques, voire pluridécimétriques, dont la taille diminue en s'éloignant du socle. Ces galets sont souvent anguleux, témoignant d'un transport presque nul (Chevallier *et al.*, 2002). Aussi, le groupe de N'Zémé Asso montre un ensemble de faciès gréseux à silto-argileux et plus rarement marneux ou dolomitiques. Les résultats d'analyses en diffractions des rayons X et les teneurs des argiles des séries PK14, PK24 et MKA1 des argiles de Libreville se trouvant dans la zone proche du groupe de N'Zémé Asso, montrent la présence des traces des minéraux hérités des granitoïdes comme l'ont souligné (Chevallier *et al.*, 2002). Dans la série PK14 (figure V.2.3.4 et tableau V.2.3.7) nous observons des traces de muscovite héritée des granitoïdes. Dans la série PK24 (figures V.2.4.3 et V.2.4.4, et tableau V.2.4.7) des traces de microcline témoignent de la présence des minéraux hérités des granitoïdes dans les roches argileuses de la région des périphéries du groupe de N'Zémé Asso. Dans la série MKA1 (figures V.2.5.3 et V.2.5.4, tableau V.2.5.7) la présence des traces des minéraux hérités des granitoïdes est très marquée par le microcline, la muscovite,

l'augite, l'orthose et l'albite dans les roches sédimentaires argileuses de la région proche du groupe de N'Zémé Asso. Le groupe de N'Zémé Asso, qui est l'interface entre le groupe de Cocobeach et celui de Madiéla, renferme les séries MGC, MCO et MKA1 ; à ce titre, hormis les proportions qui pourraient changer, ils renferment les minéraux cités dans les groupes de N'Dombo et Cocobeach. Ces minéraux pour des raisons de commodités, nous conservons les mêmes pourcentages moyens par séries comme suit : kaolinite (24,6 %), illite (2,4 %), quartz (68,6 %), hématite (3,63 %) pour la série MGC ; kaolinite (25,2 %), illite (15,2 %), chlorite (3,51 %), quartz (51,7 %), muscovite (0,64 %), albite (0,36 %), lépidocrocite (8,3 %), anatase (0,9 %) pour la série MCO. A cette liste s'ajoutent des minéraux dits autres non identifiés qui auraient des teneurs en pourcentages moyens globaux de 0,75 % pour la série MGC et 1,8 % pour la série MCO. A cette liste, ajoutons la liste des matériaux minéraux associés à des teneurs moyennes de la série MKA1 du district de Massika (tableau V.2.5.7) : kaolinite (8,0 %), illite (31,1 %), montmorillonite (smectite) (16,6 %), quartz (42,5 %), rutile (0,70 %), Orthose (0,38 %), microcline (0,63 %), muscovite (0,18 %), augite (1,7 %), hématite (4,2 %), albite (0,22 %), bernalite (8,1 %), ankérite (0,02 %), thermonatrite (0,56 %), autres (0,57 %).

- **Le groupe de Madiéla** daté de l'Aptien supérieur à l'Albien, montre une épaisseur de sédiments qui pourrait atteindre 800 m, tandis qu'elle est inférieure à 500 m dans le bassin intérieur. La série montre une succession de calcaires et marnes, puis des faciès argilo-gréseux (régression) suivis d'un nouvel épisode calcaireux et marneux (Thomas *et al.*, 2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002). A l'extrême Nord du groupe de Madiéla, se trouvent les séries MGC et MCO à la limite entre le groupe de Cocobeach et le groupe de Madiéla, pouvant justifier de la présence des minéraux des matériaux MGC et MCO mais plus concentré à Cocobeach que dans le Madiéla. Le groupe de Madiéla, interface entre le groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué et celui du groupe du Cap Lopez, aurait la composition minéralogique moyenne de celle des formations du groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué ; soit la liste des matériaux minéraux aux teneurs moyennes de la série MKA1 du district de Massika (tableau V.2.5.7) : kaolinite (8,0 %), illite (31,1 %), montmorillonite (smectite) (16,6 %), quartz (42,5 %), rutile (0,70 %), orthose (0,38 %), microcline (0,63 %), muscovite (0,18 %), augite (1,7 %), hématite (4,2 %), albite (0,22 %), bernalite (8,11 %), ankérite (0,028 %), thermonatrite (0,56 %), autres (0,57 %). A cette liste s'ajoute celle de la série PK24 proche du groupe de Madiéla à la frontière du groupe du Cap Lopez dont les teneurs minérales moyennes figurent au tableau V.2.4.7 : illite (28,8 %), quartz (63,5 %), rutile (1,0 %), anatase (0,63 %), microcline (1,15 %), oxydes de fer (5,7 %), autres (1,1 %).
- **Le groupe de Cap Lopez** est daté du Cénomani, son épaisseur maximale varie de 400 à 500 m. Il est constitué de dépôt de faciès continentaux de grès dolomitiques à rare anhydrite et de niveaux de marnes, qui passent vers l'ouest à des dépôts de plateforme associant des argiles, silts et sables fins (Thomas *et al.*, 2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002). Le groupe du Cap Lopez, repose sur les formations de Madiéla, une contamination serait probable entre les deux formations

soit une lithologie qui toucherait celle de la série MKA1 des matériaux minéraux argileux de Massika 1 qui leur servirait de liaison intermédiaire. Une liste des minéraux appartenant au groupe de Cap Lopez serait celle qui compose la série MKA1 mais aussi celle de PK24 et PK14. On signale que la série des matériaux minéraux de PK14, appartient aussi au groupe de Sibang à la frontière entre le groupe du Cap Lopez et le groupe de Sibang. Ainsi les listes des minéraux associées des teneurs moyennes des séries PK24 et PK14 sont : illite (28,8 %), quartz (63,5 %), rutile (1,0 %), anatase (0,63 %), microcline (1,15 %), oxydes de fer (5,7 %), autres (1,1 %) pour la série PK24; kaolinite (15,0 %), illite (31,3 %), quartz (44,5 %), hématite (6,82 %), rutile (1,46 %), oxydes des fer (5,7 %), autres (1,3 %) pour la série PK14.

- **Le groupe de Sibang** d'âge Turonien, d'épaisseur 500 à 600 m fait suite au groupe du Cap Lopez. Les faciès les plus abondants sont des calcaires marins témoignant d'une transgression, mais que ponctue un intervalle gréseux attribué à une phase régressive (Chevallier *et al.*, 2002). Vers la bordure et du Bassin Atlantique méridional (Bassin Sud), Chevallier *et al.*, (2002) attribuent au groupe de Sibang des occurrences de sédiments continentaux (argiles, grès argileux ou siliceux, croûtes ferrugineuses, grès kaoliniques à rares lits de conglomérats) réputés turoniens, isolées au du Groupe de Madiéla (Arnould, 1966). Ce groupe proche de Libreville a fait l'objet d'un prélèvement dans des zones non habitées (espaces verts). Le groupe de Sibang reposant sur celui du Cap Lopez serait le lieu d'un échange des matériaux minéraux. Ce groupe pourrait donc contenir des matériaux minéraux recensés dans les séries du Cap Lopez surtout dans la série de frontière (PK24) du groupe Madiéla. A la liste des matériaux minéraux de la série PK24 s'ajoute celle de la série PK14 servant d'interface entre celle du Cap Lopez et le groupe de Sibang. Comme nous l'avons évoqué dans les groupes précédents, les minéraux ici listés ont les teneurs des séries de prélèvements PK14 et PK24 défini comme suit : illite (28,8 %), quartz (63,5 %), rutile (1,0 %), anatase (0,63 %), microcline (1,15 %), oxydes de fer (5,7 %), autres (1,1 %) pour la série PK24; kaolinite (15,0 %), illite (31,3 %), quartz (44,5 %), hématite (6,82 %), rutile (1,46 %), oxydes des fer (5,7 %), autres (1,27 %) pour la série PK14.
- **Le groupe d'Anguille** daté du Campanien au Maastrichien, est d'une épaisseur estimée entre 100 et plus de 1000 m selon les secteurs, il fait suite au Groupe de Sibang. Ce groupe montre l'association de faciès variés, surtout détritiques (argiles, silts, sables) et localement carbonatés (marno-calcaires) (Thomas *et al.*, 2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002).
- **Le Groupe d'Ikando** d'âge Paléocène. d'une épaisseur de 200 à 300 m est caractérisé par des dépôts marins argileux Thomas *et al.*, (2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002).
- **Le Groupe d'Ozouri, Animba et N'Gola** recouvert par les formations du groupe d'Ikando, sont d'âge Paléocène supérieur à Eocène supérieur, mais la lithologie du Bassin Atlantique est caractérisée par les argiles, la silicification et les dolomies (Thomas *et al.*, 2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002).

- **Le Groupe d'Alewana**, d'âge Oligocène supérieur à Pléistocène, est caractérisé par les formations de Akosso, N'Tchengué, M'Béga et Mandorové (Thomas *et al.*, 2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002),
- **Le Groupe des Cirques** d'âge Pliocène-Pléistocène est caractérisé par les sables arkosiques, des grès argileux et des argiles kaoliniques Thomas *et al.*, (2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.* (2002).
- **Le Groupe des Alluvions Ogoouée** d'âge Pléistocène à Holocène, est caractérisé par des sables et des sables argileux Thomas *et al.*, (2001), Prian *et al.*, (2009 a-b) et Chevallier *et al.*, (2002).

Les matériaux minéraux argileux de Libreville et ses environs n'ont pas fait l'objet d'un prélèvement dans les zones spécifiques des Groupes de Agoula, M'Vone, Anguille, Ikando, Ozouri, Animba et N'Gola, Alewana, Cirques ni Alluvions Ogoouée. Il est ici important de souligner l'importance des argiles détritiques qui feront l'objet des travaux futurs en vue de poursuivre ce vaste programme d'inventaire des ressources en argiles dans tout le degré carré couvrant Libreville et ses environs (Figure V.3).

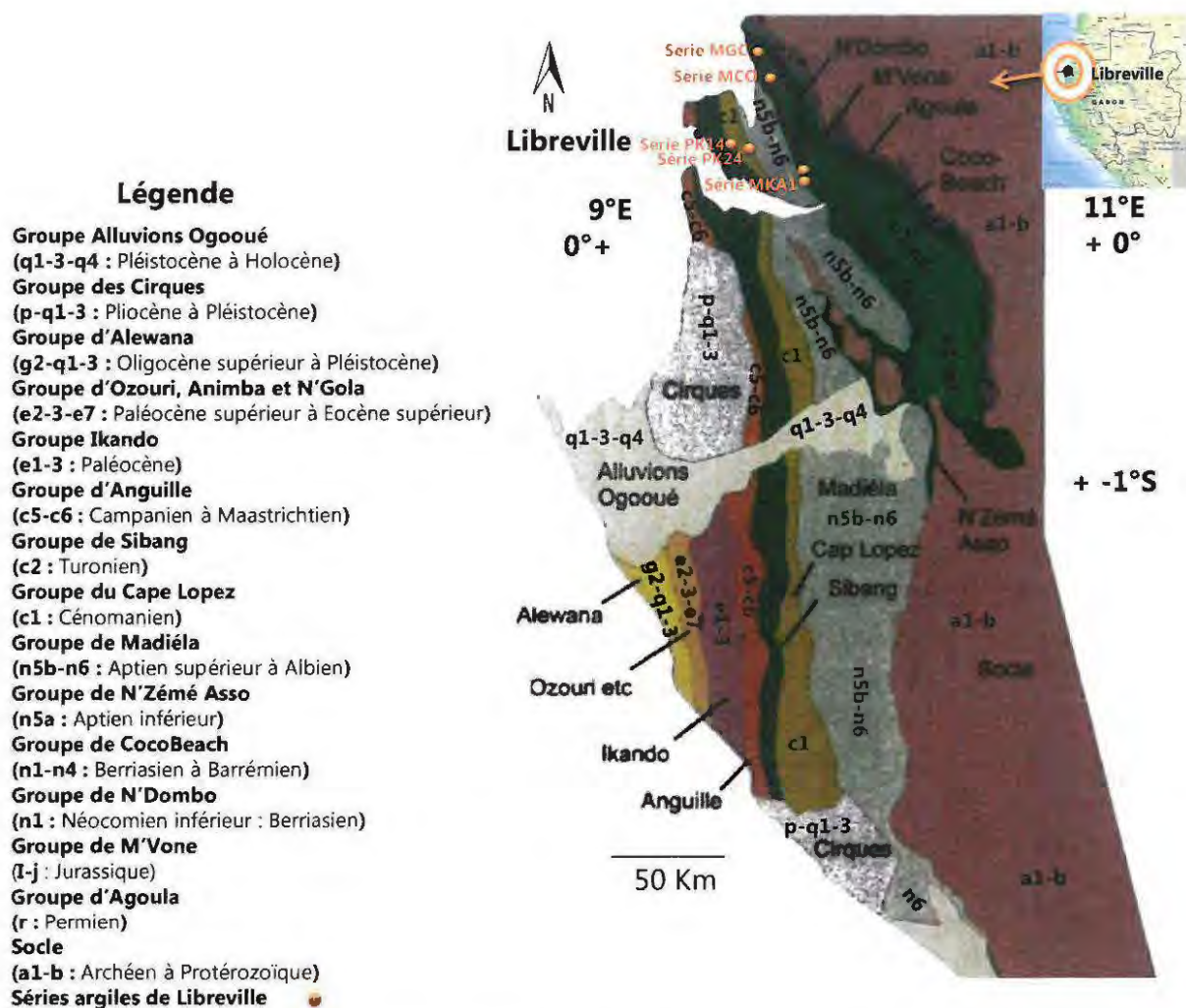


Figure V.3 : Carte lithostratigraphique des formations du bassin côtier Gabonais et localisation des argiles de Libreville dans les groupes correspondants

V.4. Propriétés des argiles et effet de la température sur les argiles de Libreville exemptes de phases gonflantes : Résultats et Discussions

Les analyses thermiques (ATD, ATG) ont permis de suivre les réactions affectant le matériau (endothermie, exothermie, pertes de masse) selon les températures. Le choix des séries des argiles de Libreville est motivé par la présence de matériaux minéraux argileux non gonflants déjà connus et recensés (Figure V.2.3.4 et Figure V.2.4.4 ; Tableau V.2.3.7 et Tableau V.2.4.7). Les séries exemptes de phases gonflantes sont PK14 et PK24. L'orientation vers les produits cuits n'étant pas favorable aux qualités contenant des phases minérales gonflantes, il est important également de regarder les produits porteurs de fondants et d'impuretés (Lapoujade *et al.*, 1986). Pour un essai de cuisson, nous privilégions trois critères déterminants pour lesquels les deux seules phases illite et kaolinite sont ici les deux seules minéraux argileux à prendre en compte dans les séries :

- 1) les matériaux ayant des pourcentages élevés en illite et ou pas de kaolinite bien évidemment sans gonflants et moins d'impuretés ;

2) ceux ayant des pourcentages élevés en kaolinite et moins d'illite sans gonflants et moins d'impuretés ;

3) Un autre critère de choix venant renforcer les deux premiers est celui de l'environnement et de la situation géographique des sites de prélèvements (Figure V.1.2), car en matière de biens et de services, la prise en compte des besoins locaux des populations est plus que capitale. La valorisation des matériaux, le transport long de la matière première est un facteur défavorable.

Pour la série PK14, dans le tableau V.2.3.7, les deux minéraux argileux les plus abondants sont la kaolinite et l'illite le composant majeur est le quartz avec des pourcentages moyens de Kaolinite (15,0%), Illite (31,3 %), Quartz (44,5 %). La série PK24 qui contient l'illite, comme phase argileuse la plus importante (28,8 %) et le quartz (63,5 %), le matériau de la série PK24 est donc presque totalement composé d'illite et de quartz (Tableau V.2.3.7). Au regard de ce qui précède, les matériaux minéraux argileux privilégiés dans les essais de cuisson des argiles de Libreville pour atteindre des propriétés de service en terre cuite sont PK14 et PK24. Selon Boulingui *et al.*, (2015), les propriétés de cuisson pour la série MGC qui a une proportion importante en minéraux argileux à kaolinite et le quartz, accessoirement de l'illite sont favorables.

V.4.1. Analyses Thermiques des Argiles des séries PK14, PK24

Les matériaux soumis aux traitements thermiques subissent des modifications de leurs propriétés physico-chimiques par la transformation de leurs phases initiales et la variation de de leurs volumes (Jouenne, 1990). Aussi, ces analyses nous permettent d'observer ces modifications en fonction de la température de chauffe (Khalil et Kabesh, 1980 ; Jordan *et al.*, 1999). L'analyse thermique différentielle (ATD) et l'analyse thermogravimétrique (ATG) couplées ont été nos techniques privilégiées et accessibles. Les traditions de terres cuites apprécient peu les phases gonflantes en raison de leurs forts retraits de séchage, bien qu'ils soient gérables industriellement, au moins jusqu'à des valeurs de 10% (Balavoine *et al.*, 2003a). Ces traditions apprécient également peu les produits trop riches en fondants car l'apparition précoce et brutale de la phase liquide, outre certains aspects inesthétiques (Balavoine *et al.*, 2003b), engendre des déformations à la cuisson (Lapoujade *et al.*, 1986). En revanche, la présence de fondants favorise l'apparition de verre en surface, ce qui améliore traditionnellement la résistance au gel mais aussi confère un surfacage anti-pathogène (contre les mousses, lichens et champignons) plus pertinent pour le Gabon (Khalil et Kabesh, 1980 ; Schmidt-Reinholz, 1991-a). De ces points de vue, les argiles d'Essassa et celles de PK14 sont donc favorables. L'autre point favorable est la situation de la localité de d'Essassa pour la production des biens de service (Figure V.1.2). Les matériaux soumis aux traitements thermiques subissent des modifications de leurs propriétés physico-chimiques et de leurs dimensions par transformation des phases initiales et de la texture (Jouenne, 1990).

V.4.1.1. Analyse Thermique de la série PK14

Les matériaux soumis aux traitements thermiques subissent des modifications de leurs propriétés physico-chimiques et de leurs dimensions par transformation des phases initiales et

de la texture (Jouenne, 1990). Ces transformations sont étudiées par analyses thermiques (couplage ATD-ATG, (Figures V.4.1.1.1 et V.4.1.1.2) (Khalil et Kabesh, 1980 ; Jordan *et al.*, 1999).

V.4.1.1.1 : Variation de masse et de température (ATG, ATD) du matériau 1PK14

La figure V.4.1.1.1 illustre la perte de masse due à l'élévation de la température. Elle se situe dans le domaine des basses température jusqu'à 600°C (Eslinger et Peaver, 1988). Aussi, d'autres minéraux sont formés lorsque la roche perd son identité initiale par perte d'eau occasionnant une porosité, ce qui laisse la place à la formation des minéraux nouveaux dits néoformés (Champreux, 1992 ; Khalil et Kabesh, 1980 ; Jordan *et al.*, 1999). De 897°C à 1080°C, il n'y a pas de variation de masse (Mehmet, 1997 ; Jordan *et al.*, 1999 ; Khalil et Kabesh, 1980 ; Ramaswamy et Kamalakkannan, 1995).

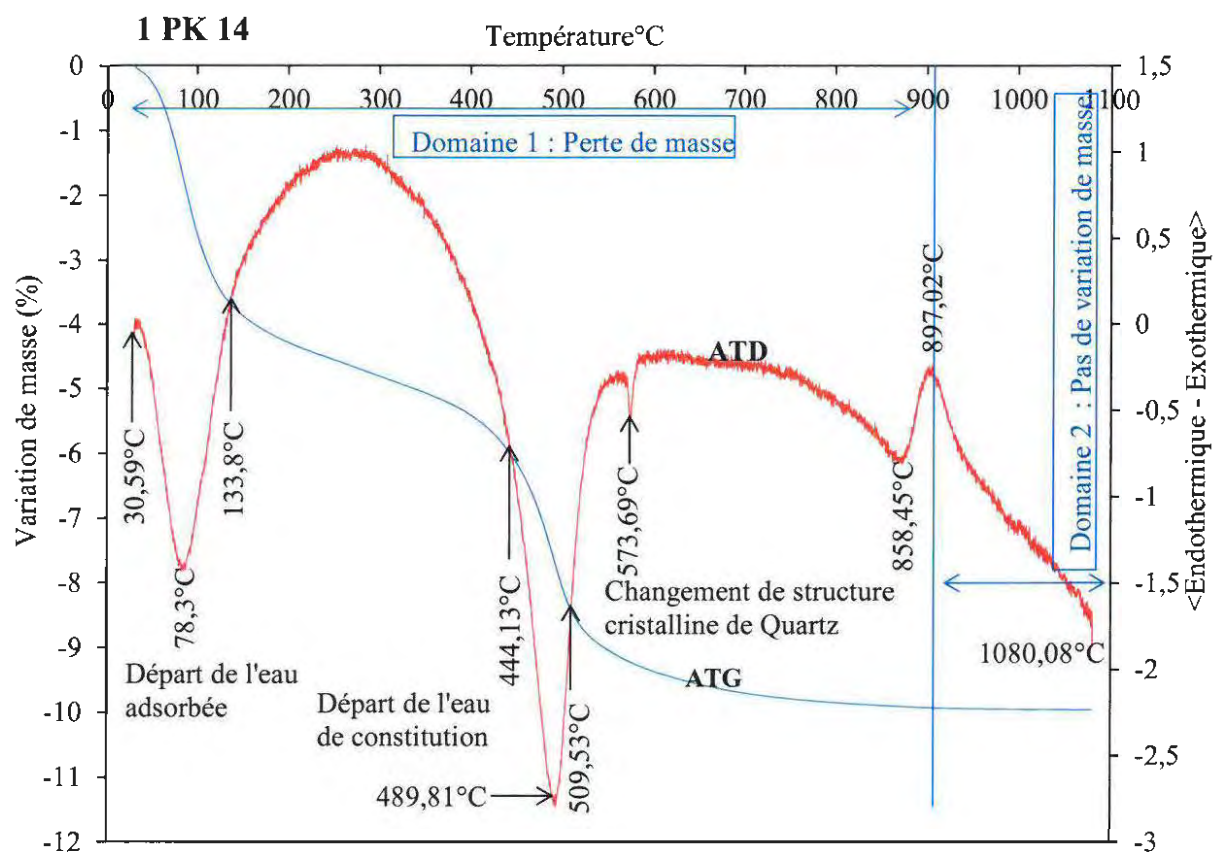


Figure V.4.1.1.1 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 1PK14

V.4.1.1.2 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 2PK14

La figure V.4.1.1.2 illustre la perte de masse due à l'élévation de la température. Elle se situe dans le domaine des basses température jusqu'à 600°C (Eslinger et Peaver, 1988). Aussi, d'autres minéraux sont formés lorsque la roche perd son identité initiale par perte d'eau

occasionnant une porosité, ce qui laisse la place à la formation des minéraux nouveaux dits néoformés (Champreux, 1992 ; Khalil et Kabesh, 1980 ; Jordan *et al.*, 1999). De 857°C à 1080°C, il n'y a pas de variation de masse (Mehmet, 1997 ; Jordan *et al.*, 1999 ; Khalil et Kabesh, 1980 ; Ramaswamy et Kamalakkannan, 1995).

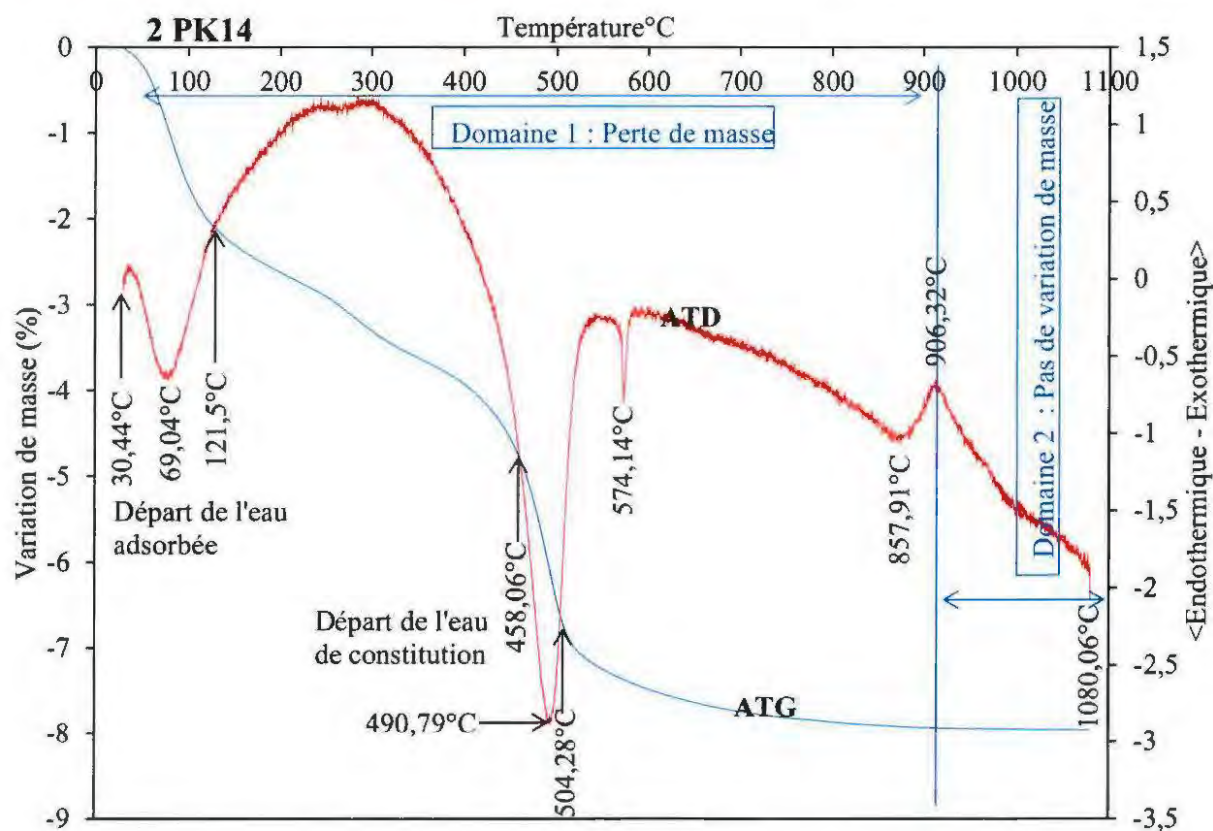


Figure V.4.1.1.2 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 2PK14

En somme, nous constatons que la série PK14 est composée des argiles qui ont bien un pourcentage élevé en illite. Le comportement au chauffage de 1PK14 et 2PK14 est semblable à celui d'un matériau monophasé de nature illitique (Schmidt-Reinholz, 1991-a). Les produits de la série PK14 montrent des produits en promullites entre 950°C et 1050°C (Viswabaskaran *et al.*, 2003 ; Viswabaskaran *et al.*, 2004 ; Sahnoune *et al.*, 2008 ; Pascual *et al.*, 2000).

V.4.1.2. Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau PK24

La (Figure V.4.1.2) illustre la perte de masse due à la hausse de température. Elle se situe dans le domaine des basses température jusqu'à 600°C (Eslinger et Peaver, 1988). Aussi, d'autres minéraux sont formés lorsque la roche perd son identité initiale par perte d'eau occasionnant une porosité, ce qui laisse la place à la formation des minéraux nouveaux dits néoformés (Champreux, 1992 ; Khalil et Kabesh, 1980 ; Jordan *et al.*, 1999). De 904°C à 1080°C, il n'y a pas de variation de masse mais début de formation de la mullite à partir de la

mise en fusion partielle et progressive des minéraux antérieurs (Khalil et El-Korashy, 1989 ; Geoshev et Buchvarov, 1992 ; Mehmet, 1997). Le matériau PK24 chauffé dans le temps en fonction de la température perd de l'eau (Velde, 1992). Les matériaux soumis aux traitements thermiques subissent des modifications de leurs propriétés physico-chimiques et de leurs dimensions par transformation des phases initiales et de la texture (Jouenne, 1990). Ces transformations sont étudiées par analyses thermiques couplage ATD-ATG, (Figure V.4.1.2) (Khalil et Kabesh, 1980 ; Jordan *et al.*, 1999).

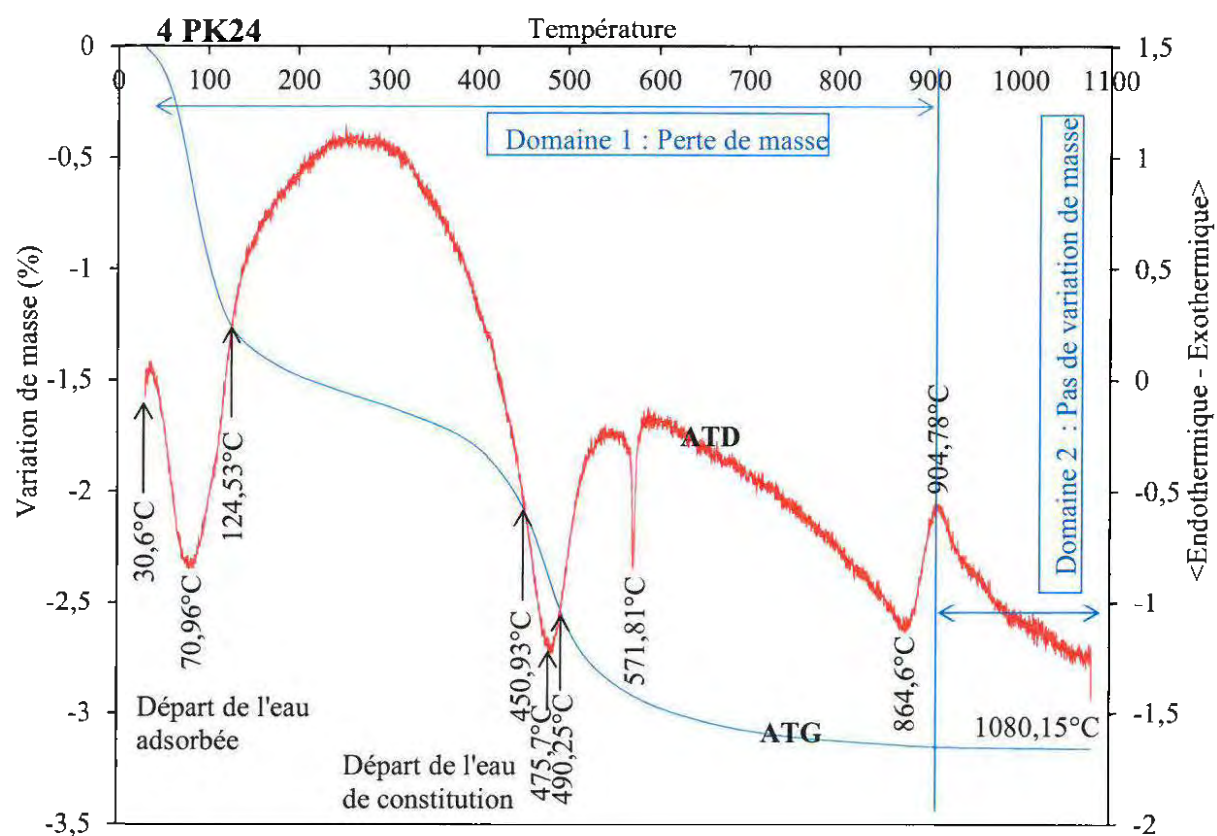
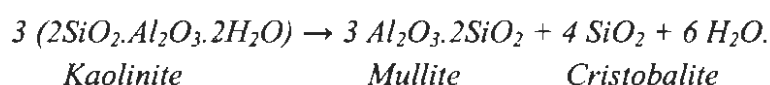


Figure V.4.1.2 : Variation de masse selon la température (ATG, ATD) du matériau 4PK24

V.5. Caractérisation fine des produits cuits à 1100°C : Résultats et Discussions

Les phases minérales majeures des matériaux argileux de PK14 PK24, sont le quartz, l'illite, la kaolinite et la Montmorillonite. Selon Lapoujade *et al.*, (1986), les argiles les plus utilisées pour fabriquer des terres cuites seraient celles à proportion notable de kaolinite. La température de cuisson à 1100°C est choisie en référence à l'essai de cuisson des normes PRE R 28, AFNOR B 40-375 et ISO 51010-1 (Lapoujade *et al.*, 1986), 1100°C est une estimation réaliste de la température de cuisson pour transformer les produits argileux non adjuvants des séries PK14, PK24 en terres cuites. Les produits cuits sont caractérisés par diffraction-X pour en déterminer la minéralogie, et en microscopie à balayage pour observer les évolutions texturales. Les diffractogrammes des matériaux PK14 et PK24, cuits à 1100°C (Figure V.5.1.1 et Figure V.5.1.2) révèlent principalement du quartz et ne montrent pas les raies

principales caractéristiques de la mullite ni de la cristobalite, on en déduit donc que la transformation thermique de la fraction argileuse produit ici des amorphes. Dans les matériaux argileux de PK14 et PK24, les principales phases minérales, sont le quartz et les matières à illites et kaolinites. Ces compositions dominées par leurs titres en aluminium et silicium nous orientent vers des produits céramiques (Carniglia et Barna, 1992 ; Champreux, 2008 ; Balavoine *et al.*, 2000 ; Balavoine, 2002). Parmi les argiles recensées dans les matériaux de PK14 et PK24, le type à kaolinite est privilégié selon les recommandations de Lapoujade *et al.*, (1986). En principe, sous l'action de la chaleur, à la vitesse de 5°C/min, ces matières se déshydratent et se déshydroxylent jusqu'à 700°C puis recristallisent vers 1000°C à 1100°C suivant l'équation :



Les séries PK14 et PK24 (Tableau V.2.3.7 et Tableau V.2.4.7) ont d'intéressantes teneurs moyennes en illite et sont exemptes de minéraux gonflants, ces deux séries peuvent jouer le rôle de fondant en favorisant l'abaissement de la température de cuisson en surface (Schmidt-Reinholz 1991-a). La température 1100°C fournirait une indication sur la possible acquisition de propriétés de service en termes de terre cuite des produits argileux de Libreville exempts de phases gonflantes. Ensuite, les chamottes d'argiles cuites seront caractérisées finement par DRX (Mehmet, 1997 ; Jordan *et al.*, 1999 ; Khalil et Kabesh, 1980 ; Ramaswamy et Kamalakkannan, 1995) et Microscopie Electronique à Balayage pour déterminer les nouvelles phases formées vers 1100°C et la morphologie des nouveaux grains.

V.5.1. Diffractions des Rayons X (DRX)

Le but de cette partie est de déterminer les nouvelles phases formées après cuisson des argiles à 1100°C. Selon Khalil et El-Korashy, (1989), le suivi des transformations des matières premières à l'aide de la diffraction-X, devrait montrer les nouvelles phases formées avec l'élévation de la température de cuisson vers 900°C à 1050°C.

V.5.1.1. Diffraction de rayons X de la série PK14 cuite à 1100°C

En cru, la fraction argileuse de la série PK14 a comme principaux minéraux argileux l'illite (31,3%) et la kaolinite (15,0 %). Le quartz est dans une fraction sableuse fine à très fine du côté arénites pour la fraction grossière à fine du côté pélites dans l'ensemble de la série PK14 des matériaux crus, sa teneur moyenne est de 63,5 %. Après cuisson à 1100°C, les diffractogrammes-X de la série PK14 montrent même les oxydes de fer comme l'hématite. Il faut au passage signaler les phases probables : corindon, ilménite, spinelle identifiées en diffraction-X (Figure V.5.1.1). Dans la série PK14, (Tableau V.2.3.7, et figure V.3), il est mentionné la présence des minéraux hérités et ceux appelés traces (Autres) qui justifient la présence des éléments non visible dans les fractions crues.

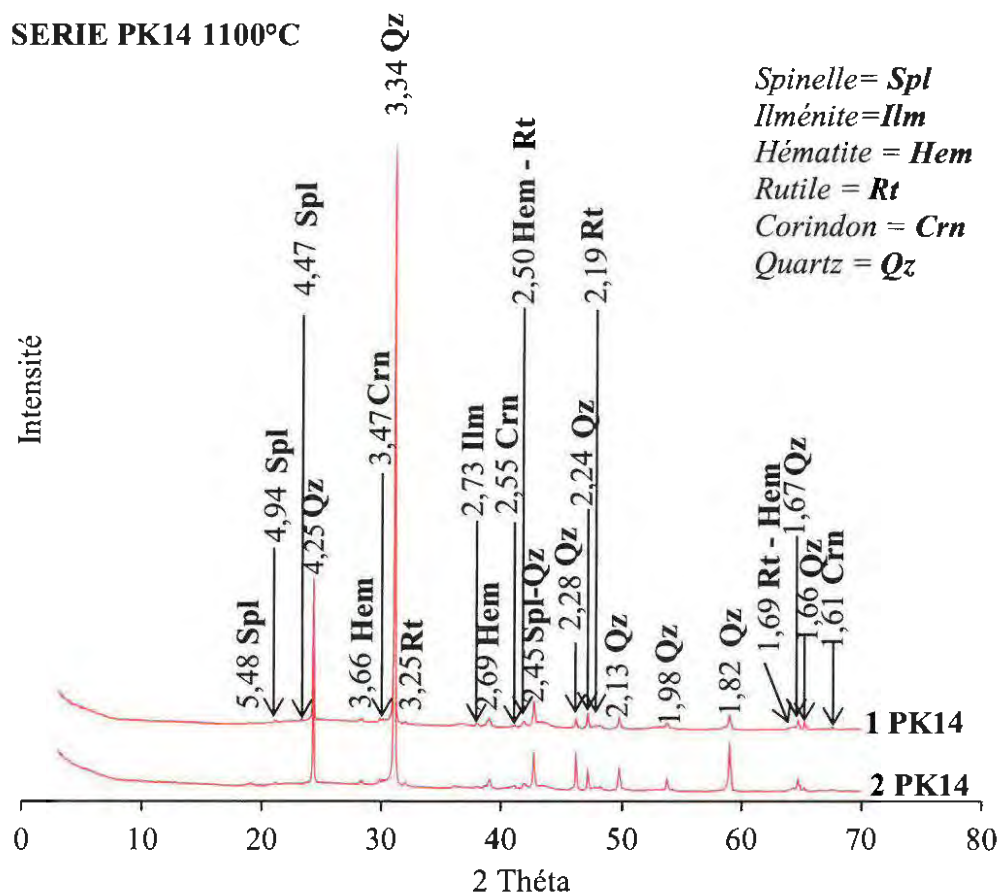


Figure V.5.1.1 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK14 sur la route nationale N°1 au PK14 de la région de Libreville cuits à 1100°C

V.5.1.2. Diffraction de rayons X de la série PK24 cuite à 1100°C

En cru, la fraction argileuse de la série PK24 a comme principaux minéraux argileux l'illite (28,8 %). Le quartz qui est dans des arénites et pélites avec une fraction sableuse fine à très fine du côté arénites pour fraction grossière à fine du côté pélites dans l'ensemble de la série est à une teneur moyenne de 63,5 %. Après cuisson à 1100°C, les diffractogrammes de la série PK24 montrent des phases amorphes portées par Si, Al, Mg et même les oxydes de fer comme l'hématite. Il faut signaler aussi les phases probables amorphes, le corindon, l'ilménite, un spinelle et le rutile identifiées en diffraction-X (Figure V.5.1.2).

SERIE PK24 1100°C

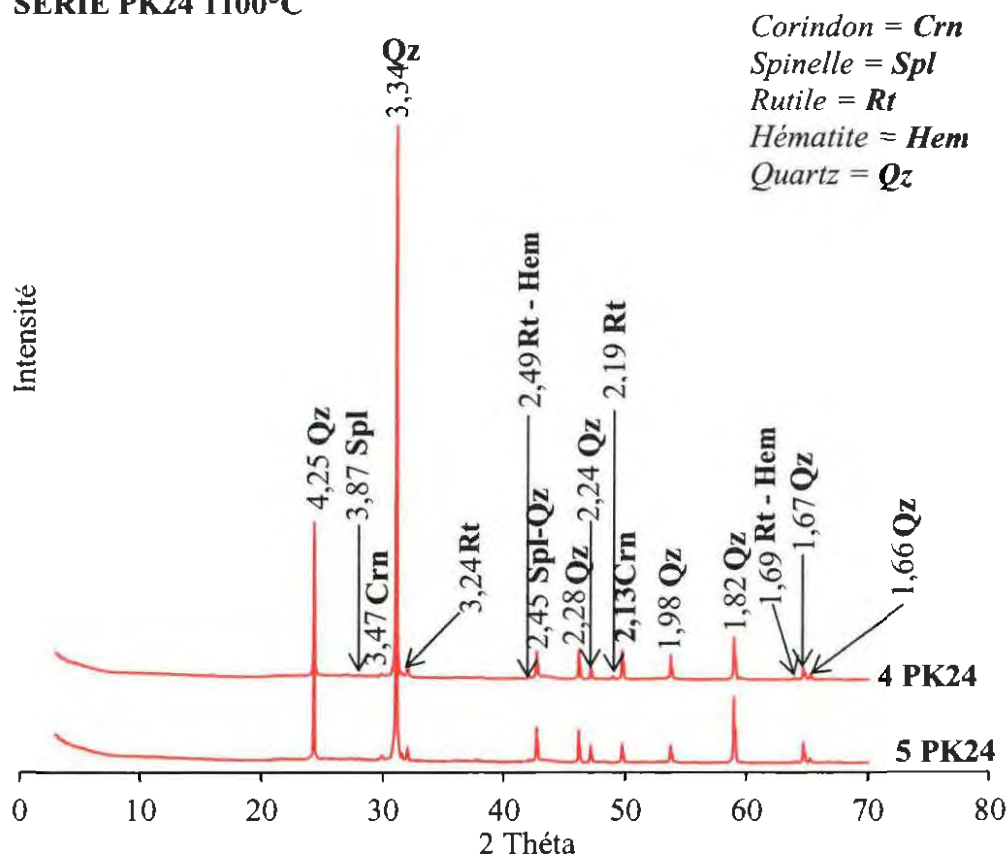


Figure V.5.1.2 : Diffractogrammes-X sur roche totale des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa de la région de Libreville cuits à 1100°C

V.5.2. Microscopie Electronique à Balayage (MEB)

Dans l'ensemble, les analyses au MEB des cuits à 1100°C sur section polies ou rompues des matériaux minéraux argileux d'Essassa et du PK14 montrent le quartz (silice), l'oxyde d'aluminium, l'oxyde de fer et des sillons (vides). Les forts pourcentages de quartz dans les matériaux crus des séries PK14 et PK24 (Tableau V.2.3.7 et Tableau V.2.4.7), les fractions grossières et fines à très fines (Figure V.2.3.1 et Figure V.2.4.1), la lithostratigraphie du crétacé (figure V.3) faisant état des formations granitoïdes altérées du groupe de N'Zémé Asso – Grès de la Remboué (Chevallier *et al.*, 2002), révèle des conglomerats à galets de granitoïdes souvent décimétriques, voire pluridécimétriques, dont la taille diminue en s'éloignant du socle et pouvant être transporté à des distances non négligeables. Les produits promullites (Viswabaskaran *et al.*, 2003 ; Viswabaskaran *et al.*, 2004 ; Sahnoune *et al.*, 2008 ; Pascual *et al.*, 2000), formés aux températures inférieures à 1050°C sont des produits présents avant la formation de la mullite qui elle se formerait aux températures supérieures ou égales à 1200 voire 1300°C de la calcination pour ces matériaux d'essai de cuisson. Les sections non polies de ces matériaux cuits à 1100°C présentent les grains de quartz tapissés d'un film.

V.5.2.1. Vue d'ensemble sur face polie au MEB et EDS de la série PK14 Cuite à 1100°C

Sur face polie (Figure V.5.2.1.1), l'analyse à l'échelle plein champ dans la plage du matériau cuit à 1100°C prospecté, une population des grains rugueux semble résister au polissage ou encore est en déphasage avec les faces des grains cuits ayant des faces plus au-dessus susceptibles d'être attaqués par le polissage. Les grains polis présentent des surfaces lisses et ceux non polis sont rugueux (Figure V.5.2.1.1).

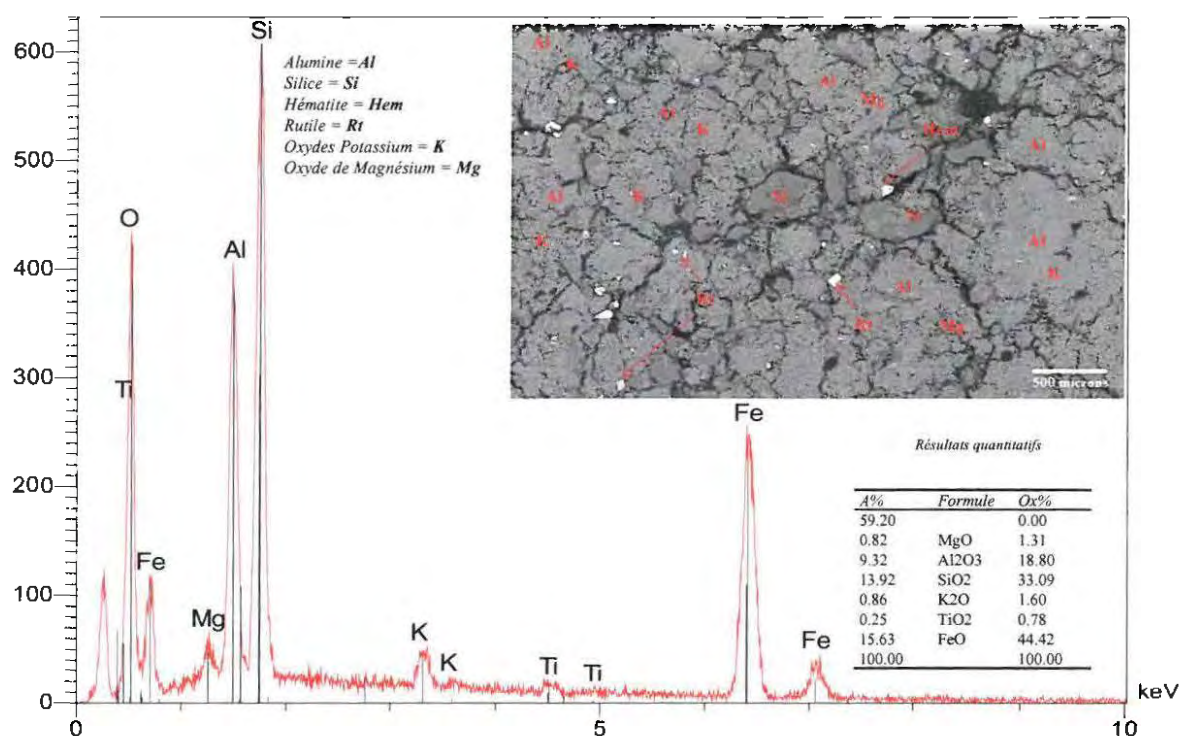


Figure V.5.2.1.1 : Vue d'ensemble sur face polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C sur roche totale

L'investigation à 100 microns (Figure V.5.2.1.2), montre bien une surface d'ensemble des grains de quartz sur laquelle repose de l'oxyde de fer (comme l'hématite) sur la partie nord-ouest de la plage, de l'oxyde de titane sur sa partie sud-ouest. Toute la plage est parsemée d'aluminium caractéristique de la formation des produits promullitiques à la base (Figure V.5.2.1.2).

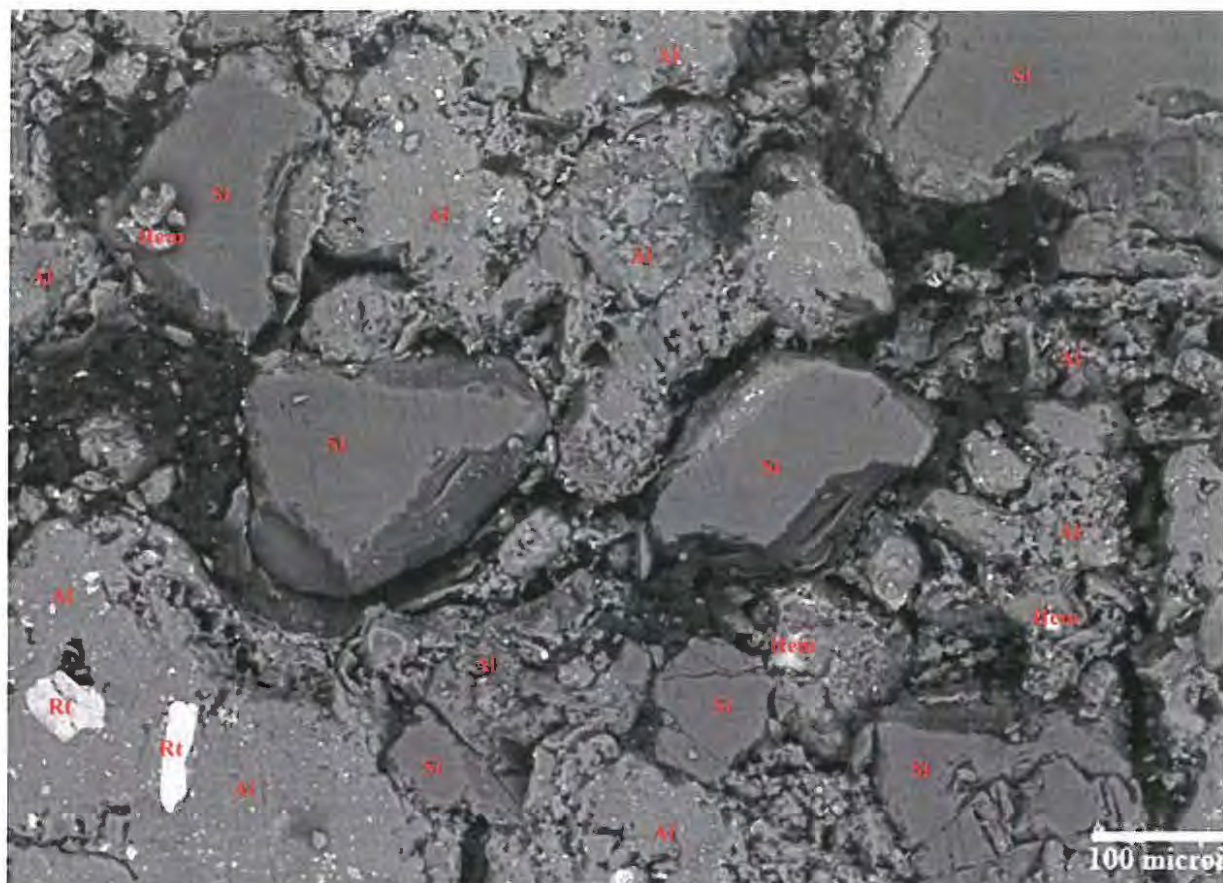


Figure V.5.2.1.2 : Vue au MEB et EDS sur face polie des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C

La figure V.5.2.1.3, montre un relief figeant une matière visqueuse, suggérant une probable pâte où baignent des oxydes de titane (rutile) et de fer (hématite). Cette plage montre également un aspect cotonneux (alumine) et un oxyde de fer suggérant de l'alumohématite. Dans la figure V.5.2.1.3, l'hématite est bien visible mais dispersée sur la surface de la plage occupée par de l'alumine sur laquelle nous pouvons remarquer une fente bien marquée créant un espace en forme de sillon. En somme, en microscopie à balayage, les faces polies de matériaux minéraux de la série PK14, cuits à 1100°C, montrent les surfaces de contact avec des grains de quartz grossiers tapissés d'oxydes (aluminium, titane, fer) (Figure V.5.2.1.3).

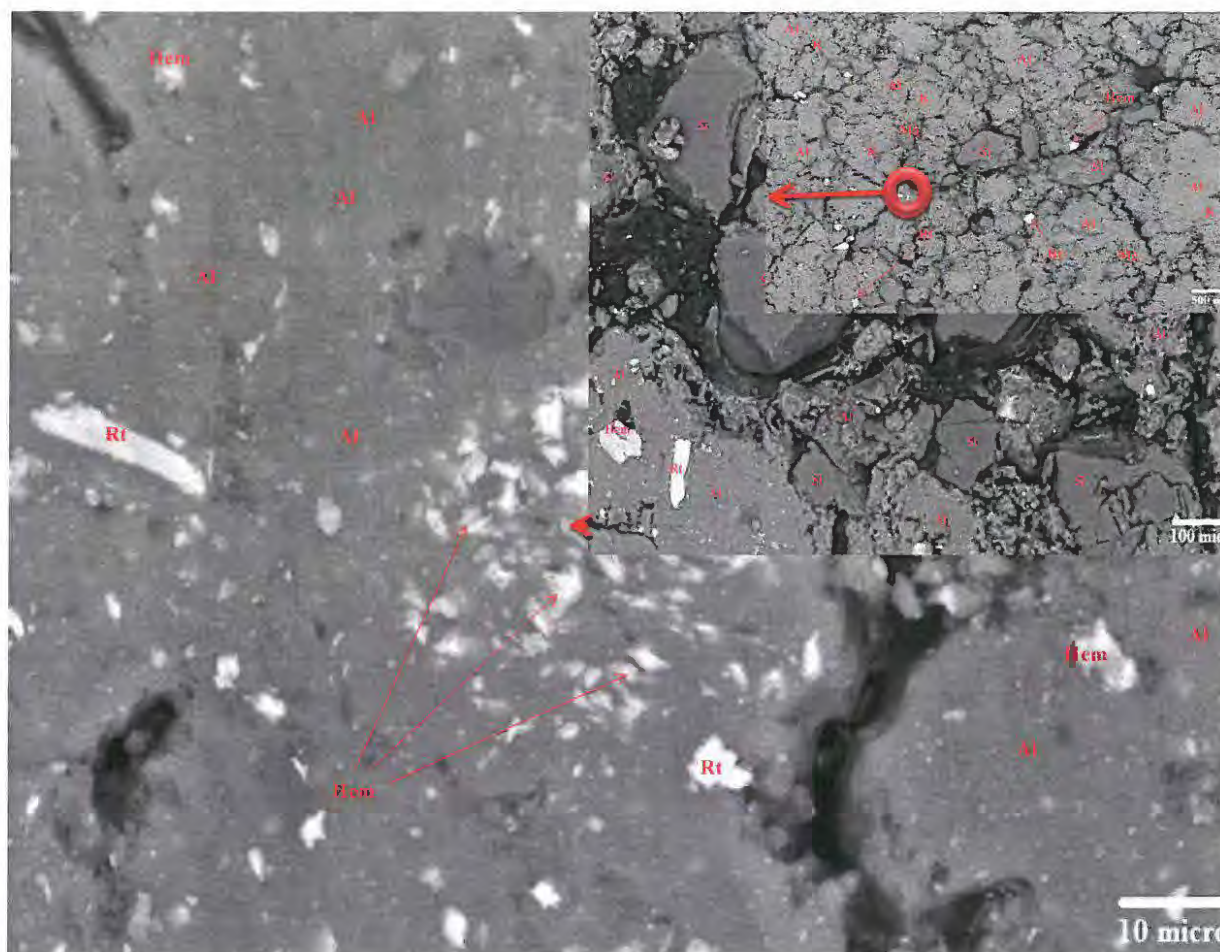


Figure V.5.2.1.3 : Vue au MEB et EDS sur face polie des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C montrant des oxydes de fer disséminés sur l'ensemble de la surface de la plage prospectée

V.5.2.2. Vue d'ensemble au MEB et EDX sur fragment rompu de la série PK14 Cuite à 1100°C

Sur face non polie (Figure V.5.2.2.1), l'observation générale à 500 microns dans la plage du matériau cuit à 1100°C prospecté, une population des grains rugueux est très marquée. Les grains non polis présentent des surfaces trapues (Figure V.5.2.2.1). La face non polie des matériaux minéraux argileux de PK14 cuits à 1100°C vue au MEB, (Figure V.5.2.2.1), présente une surface rugueuse craquelée recouverte de silice et d'oxyde d'aluminium. L'analyse à 30 microns (Figure V.5.2.2.2), montre une forme en larve en perles, la silice apparaît en forme de boule aplatie recouverte d'oxyde d'aluminium où s'étale l'oxyde de fer (hématite), le potassium et le magnésium dont la présence est justifié dans le V.3. La figure V.5.2.2.3 pour une plage analysée à 20 microns et la figure V.5.2.2.4 pour une plage observée à 10 microns, présentent respectivement une texture larvaire en perles rattachées sur des grains asymétriques (Figure V.5.2.2.3), une texture visqueuse à larvaire où baignent les oxydes d'aluminium, de fer et de titane avec un titane visible de forme allongée, dans les deux cas, des vides sont bien apparents.

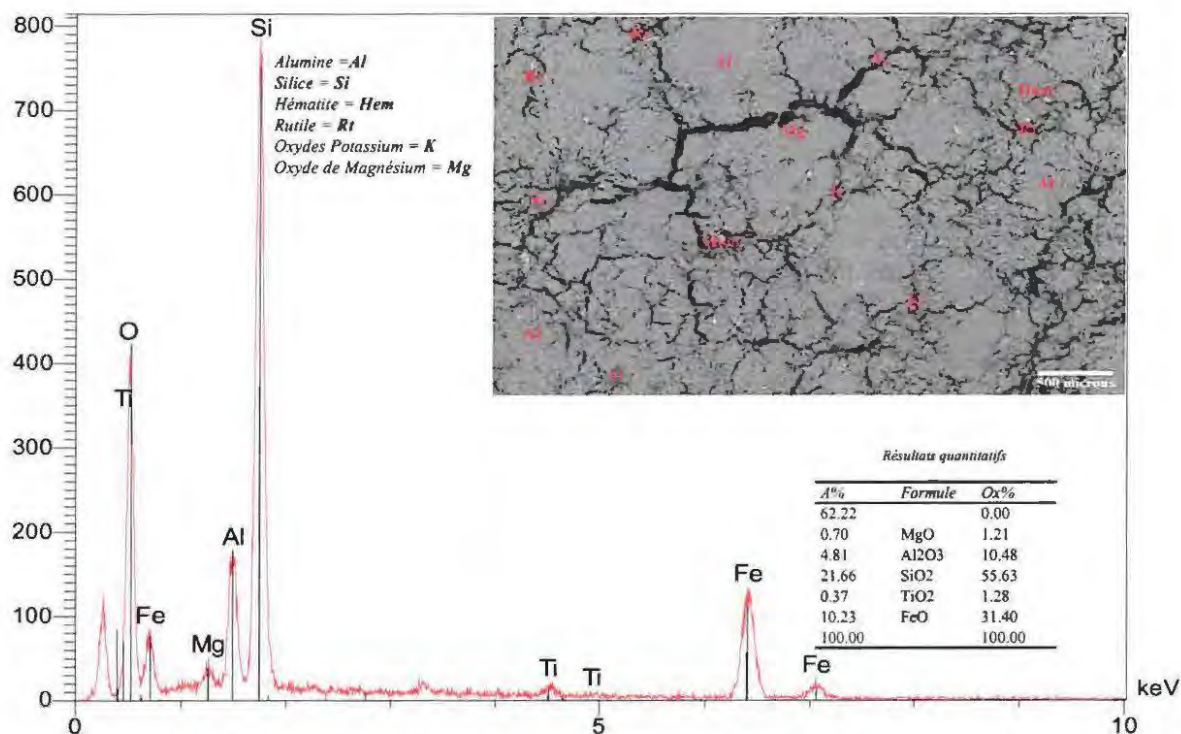


Figure V.5.2.2.1 : Vue d'ensemble sur face non polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C sur roche totale

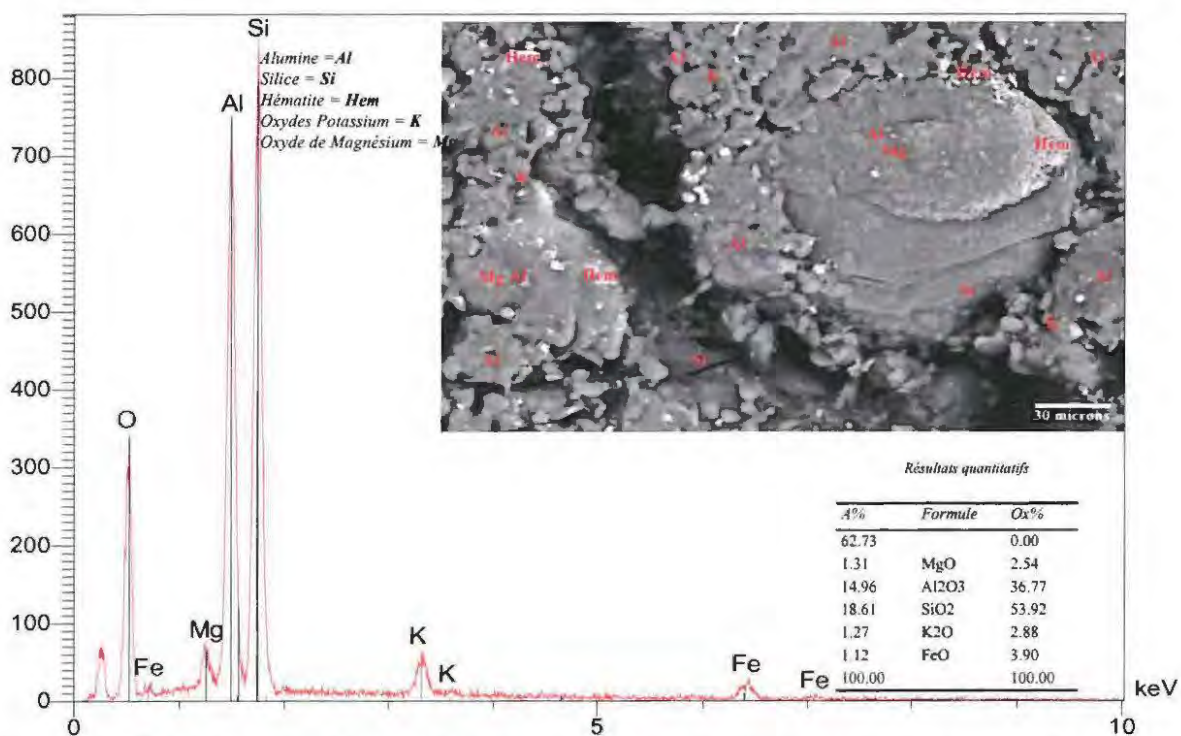


Figure V.5.2.2.2 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C à plage larvaire

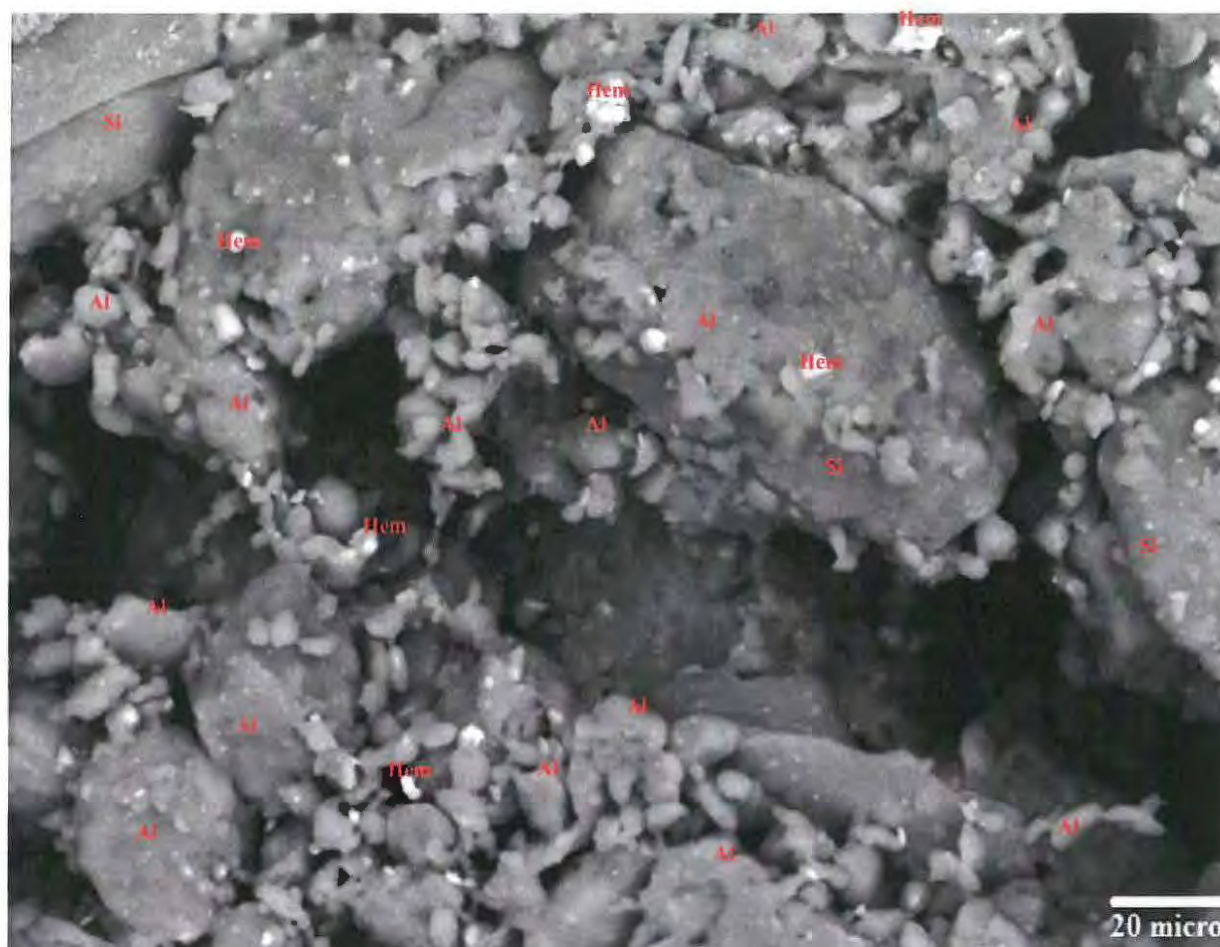


Figure V.5.2.2.3 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C à plage larvaire où sont noyé les oxydes de fer à la surface

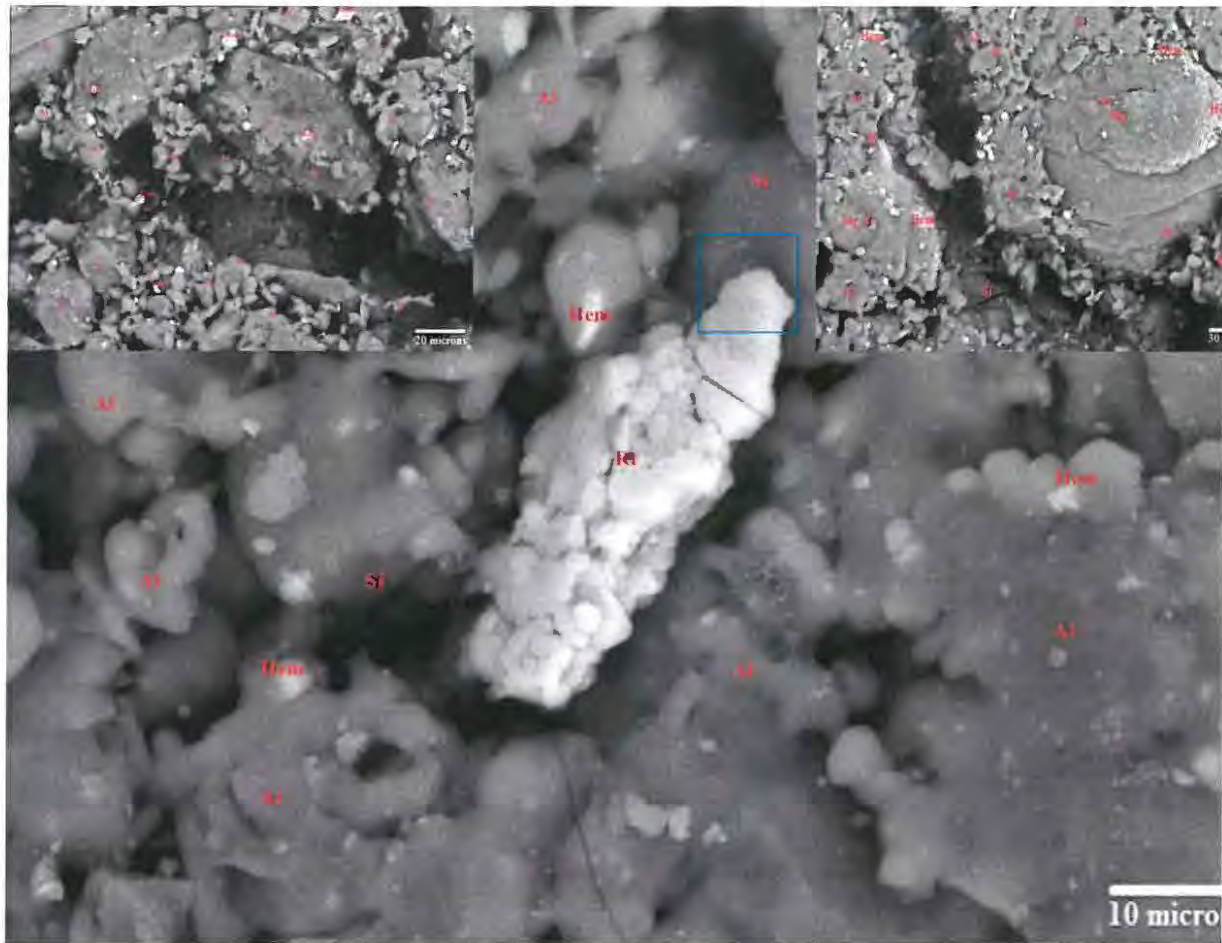


Figure V.5.2.2.4 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK14 (route nationale N°1 de la région de Libreville) cuits à 1100°C à plage larvaire montrant une structure de rutile allongée incluse entre les grains de quartz (le voir dans sa partie haute entourée en carré bleu)

Les matériaux minéraux de la série PK14 présentent un aspect général de ramollissement de matière.

V.5.2.3. Vue d'ensemble au MEB et EDX sur fragment rompu de la série PK24 Cuite à 1100°C

Sur face polie (Figure V.5.2.3.1), une analyse générale à 500 microns dans la plage du matériau PK24 cuit à 1100°C prospecté est réalisée. Pour une population des grains de petites tailles allant d'arénites et pélites avec une fraction sableuse fine à très fine du côté arénites pour fraction grossière à fine du côté pélites, les argiles du matériau d'Essassa, ne montrent pas de polissage à la surface des grains. Les grains polis de la série PK24 présentent des surfaces polies mais rugueuses (Figure V.5.2.3.1), montrant un relief compact large caractéristique de l'alumine et de grains de silice enrobés.

Dans la figure V.5.2.3.2, à 30 microns, nous observons un morceau de rutile inclus dans le cortège silice-alumine, d'autres éléments titanifères sont disséminés dans la plage.

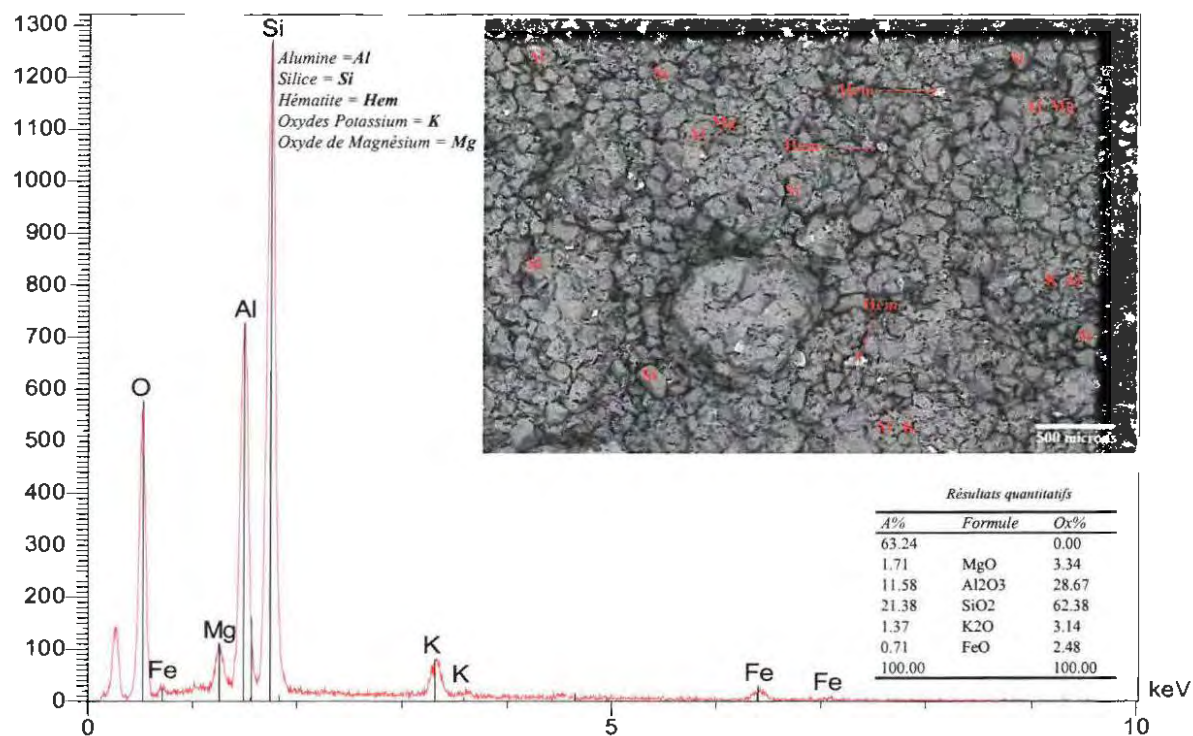


Figure V.5.2.3.1 : Vue d'ensemble sur face polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C sur roche totale

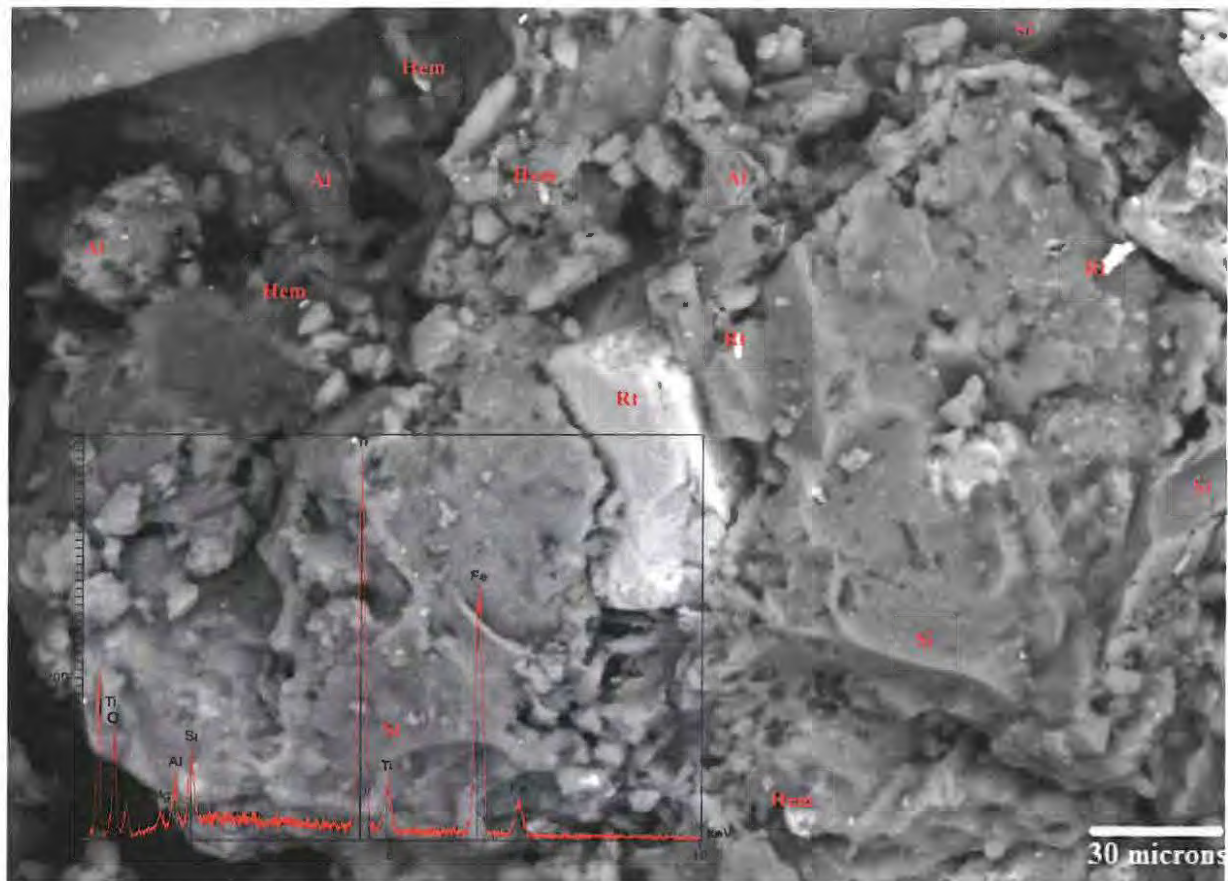


Figure V.5.2.3.2 : Vue au MEB et EDS sur face polie des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C à rutile inséré entre les grains de quartz

V.5.2.4. Vue d'ensemble au MEB et EDX sur fragment rompu de la série PK24 Cuite à 1100°C

Sur face non polie (Figure V.5.2.4.1), l'analyse à 500 microns dans la plage du matériau cuit à 1100°C prospecté, une population des grains rugueux est très marquée. Les grains non polis présentent des sections trapues (Figure V.5.2.4.1). La face non polie des matériaux minéraux argileux de PK24 cuits à 1100°C vue au MEB (Figure V.5.2.4.1), présente une surface rugueuse craquelée recouverte de silice et d'oxyde d'aluminium. L'analyse à 30 microns (Figure V.5.2.4.2), montre une texture larvaire en perles et pâteuse, la silice apparaît sous forme de globule aplati recouvert d'oxyde d'aluminium où s'étale de l'hématite vacuolaire, et des équivalents d'oxyde de potassium et de magnésium dont la présence est justifiée au V.3. La figure V.5.2.4.3 pour une plage analysée à 10 microns, la texture larvaire en perle est rattachée à des grains asymétriques (Figure V.5.2.4.3), une texture visqueuse à larvaire où baignent les oxydes d'aluminium, de fer et de titane avec ici une forme arrondie, dans tous les cas, les vides sont bien apparents.

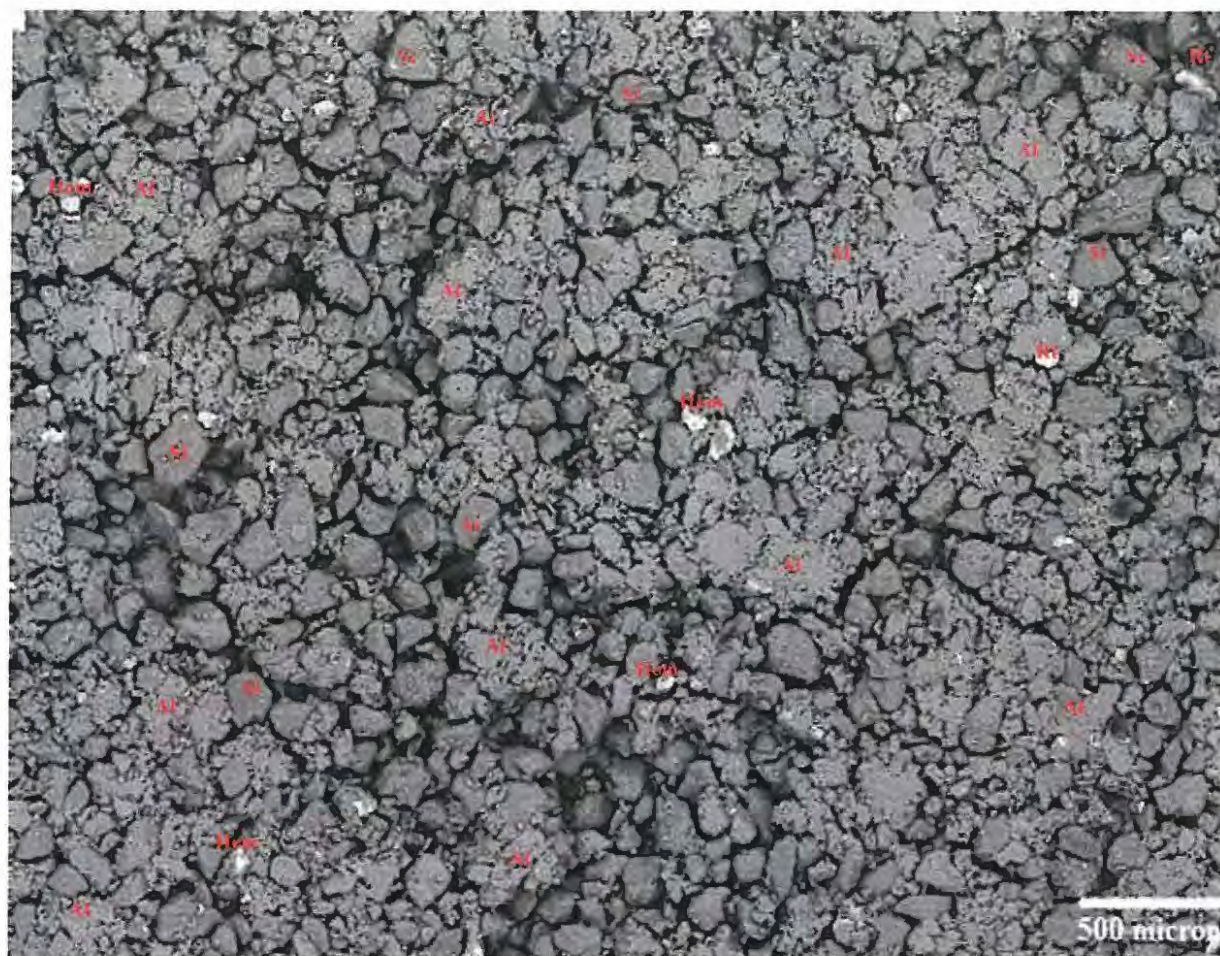


Figure V.5.2.4.1 : Vue d'ensemble sur face non polie au MEB et EDS des matériaux argileux de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C sur roche totale

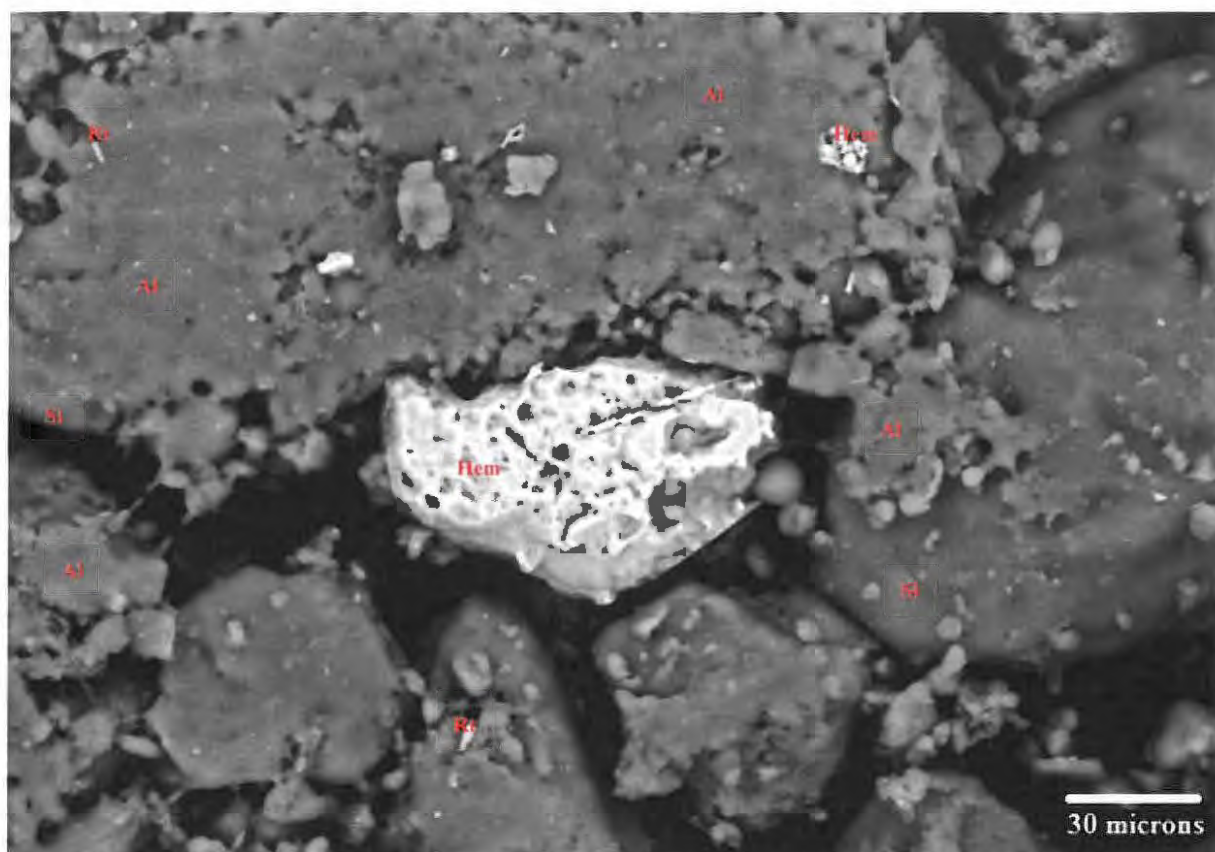


Figure V.5.2.4.2 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK24 du district d'Essassa cuits à 1100°C à plage larvaire montrant une structure d'oxyde de fer à caractère vacuolaire

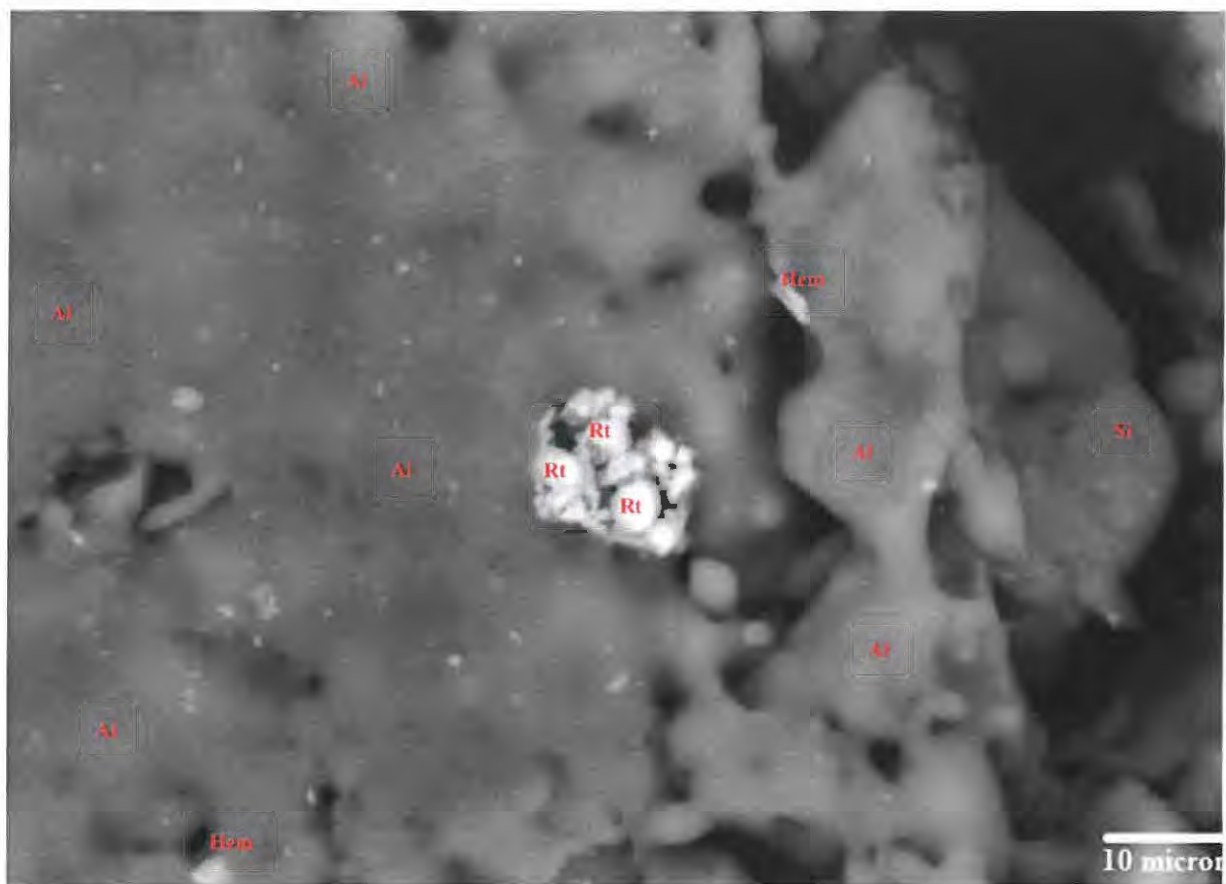


Figure V.5.2.4.3 : Vue au MEB et EDS des matériaux argileux sur face non polie de la série PK24 du district d'Essassa cuit à 1100°C à plage larvaire montrant une structure de rutile ronde baignée dans de l'alumine

Conclusions

Les argiles de Libreville, prédisposées à l'élaboration des briques en terre crues et cuites, sont classées suivant le diagramme de la [figure V.6](#). Les paramètres qui sont le climat, la topographie et la nature de la roche-mère définissent les paramètres de ce classement. La classification des minéraux dans ce diagramme est contraire à l'ordre d'altérabilité des minéraux décrit par ([Berner et Berner, 1987](#)). Ici nous tenons compte de l'ordre d'apparition des minéraux argileux après altération de la roche-mère suivant sa nature (acide ou basique), l'importance de l'hydrolyse en fonction des saisons (climat) et la morphologie des zones de situation des matériaux donc la topographie ([Figure V.6](#)).

Les séries PK14, PK24 et MKA1 situées dans le domaine où le climat est associé à une hydrolyse peu poussée, d'une topographie à planimétrie classée dans le cadre d'une cuvette tendent à se résoudre dans la zone d'altération des minéraux néoformés surtout pour la série MKA1 dans laquelle nous avons des montmorillonites. La topographie, qui explique les contours du drainage, montre que les deux séries (MGC et MCO) sont situées plus au nord comparées aux trois autres séries. Dans cette partie, la pente, le lessivage et le drainage sont notables ce qui favorise la formation des kaolinites dont les pourcentages moyens sont 25,2 % pour la série MCO et 24,6 % pour celle de la série MGC. Partant du fait que l'illite est un minéral qui se forme lorsque que l'hydrolyse est progressive, les différents pourcentages moyens en teneur massique le caractérisant dans ces deux séries sont les suivants : 15,2 % pour la série MCO et 2,39 % pour la série MGC, justifié par le positionnement de deux séries

à savoir, la série MGC est située plus au nord que la série MCO. Par ailleurs, dans les séries MKA1, PK14 et PK24 situées plus au sud, en plateau forme de bassin, les pourcentages des illites sont importants soient en moyennes 31,3% pour la série PK14 ; 28,8 % pour la série PK24 et 31,1 % pour la série MKA1. Les pourcentages moyens des kaolinites dans ces trois séries sont les suivants : 15,0 % pour la série PK14 ; presque inexistant dans la série PK24 et de 8,0 % pour la série MKA1. Nous notons également la présence des Montmorillonites dans la seule série MKA1. Le pourcentage moyen des montmorillonites dans la série MKA1 est de 16,6 %. A ce titre, considérant les différentes proportions des kaolinites et des illites dans certaines séries, nous pouvons suggérer un mélange des séries MGC et MCO à celles de PK14 et de PK24 pour les briques cuites car dans les deux premières, il y a moins de fondants et dans les deux derniers, les pourcentages moyens en illite feraient des bons fondants.

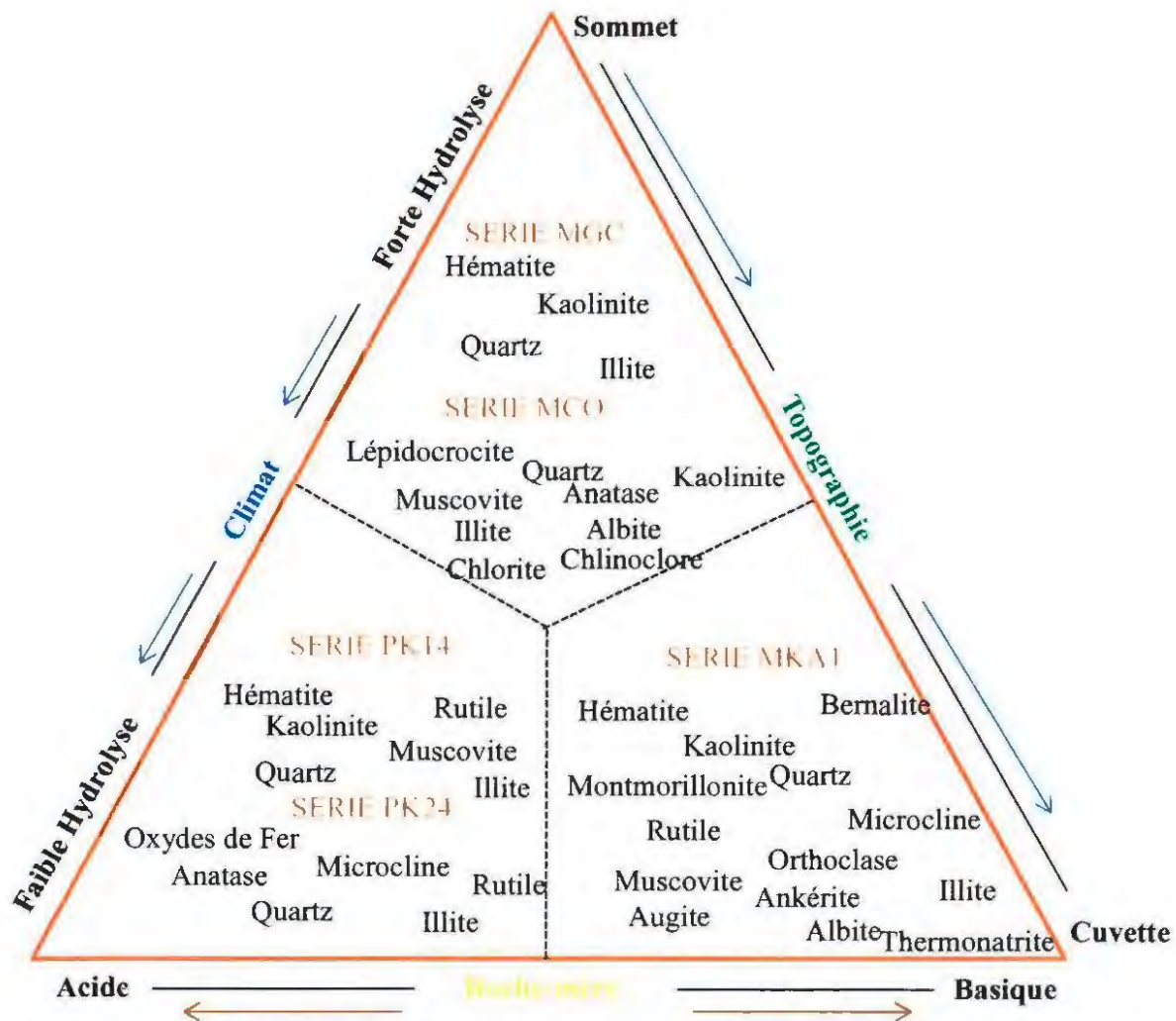


Figure V.6 : Classification des phases des séries des matériaux argileux de Libreville et ses environs formées au cours de l'altération des roches-mères (acides et ou basiques) dans un diagramme triangulaire en fonction du climat et de la topographie des lieux (Diagramme ROM-Cli-Top) avec ROM : roches-mères ; Cli : climat ; Top : topographie

Chapitre VI : Etude du Talc de Tchibanga

Introduction

L'observation macroscopique des gites minéraux des talcschistes de Tchibanga et ses environs montrent des affleurements stratifiés massiques constitués des sables fins plus ou moins argileux de couleurs blanchâtres à jaunâtres dans l'ensemble pour des niveaux altérés, et des structures en feuillets pour des niveaux tectonisés et dolomitiques primaires. Dans les deux cas des gîtes primaires et secondaires, le matériau happe au toucher. Dans ce chapitre, il sera question de la revalorisation du talc de Tchibanga par le calcul des nouvelles teneurs massiques des phases minérales caractéristiques présentes dans les matériaux pour des zones d'accès facile aux industriels. Ces données sont susceptibles d'être directement utilisées pour la valorisation des gisements connus. Les sites sélectionnés sont Minganga (BTT1), Carrière (BTT2, BTT3 et BTT4), Ecole I (BTT6 et BTT7), Dougandou et Louango (BTT8 et BTT9), et Mourindi (BTT11 et BTT12). Les résultats obtenus sont présentés par site et par type d'analyse. Les matériaux sont des talcschistes dans l'ensemble des sites prospectés ce qui pourrait conforter des applications en céramique réfractaire.

VI.1. Description macroscopique et localisation de sites

VI.1.1. Description macroscopique

Suivant Boutin et al., (2001), du point de vue géographique, le talc de Tchibanga est situé dans le vaste synclinorium de la Nyanga, le niveau de talc se situe dans la partie supérieure de la succession Schisto-Calcaire (SCIII). Ce niveau à talc est continu. Il est masqué par une forte couverture latéritique d'une longueur de 600 km et d'une largeur de un à quelques kilomètres. Une coupe schématique interprétative du synclinal de la Nyanga de l'Océan au chaillu, avec une forte intensité des plissements, une schistosité et un métamorphisme décroissant d'Ouest en Est. Dans le département de Fougamou, débute le schisto-gréseux. Nos observations à partir de Minganga, montre un premier affleurement d'indices de talc apparaît dans une stratification constituée de sable fin plus ou moins argileux blanc, de la latérite de 3 à 4 m de puissance est présente sur le talc dans un ancien puits de talc du BRGM qui n'a pas été échantillonnée faute de moyens logistique. Mais à plus 500 mètres de ce puits, un échantillon a été prélevé sur un affleurement composé de sable fin blanc. Dans le schisto-gréseux, un ensemble des collines forment une demi-orange recouverte de forêts, depuis le village de Mokambo jusqu'à Tchibanga. A Tchibanga sous la série schisto-gréseuse, apparaît le contact de la série schisto-calcaire sur lequel affleure le talcschiste. Le talcschiste a une répartition hétérogène avec des poches de roches talqueuses et d'autres roches blanches carbonatées. A la base, une structure redressée comporte des bandes de talcschiste de 30 cm d'épaisseur. Un niveau de talc redressé d'épaisseur 30 cm est observé sur un petit talus de 3 m de hauteur dans la zone de la carrière BTT2, BTT3 et BTT4 avec de l'argile blanche associée au sable fin (Figure VI.1.1.1).



Figure VI.1.1.1 : Niveau de talc redressé d'épaisseur 30 Cm (A) et poudre de sable fin à argile blanche (B) de Tchibanga à la Carrière

Un affleurement de talc de couleur blanche à jaunâtre sur un talus au quartier Minzanzala à l'Ecole I montre un matériau au touché lisse et onctueux, humide pouvant faire de la pâte à modeler. Il happe la main au touché et laisse une mince couche de film de sa structure sur la partie du corps à son contact (Figure VI.1.1.2).



Figure VI.1.1.2 : Afleurement du talc brun de l'Ecole I quartier Minzanzala à Tchibanga

Sur le plan structural, les carbonates de la Nyanga présentent une foliation redressée d'orientation générale N160°E 38WSW à N135°E 38SW. Un talus vertical sur le flanc d'une colline demi-orange, de courbure régulière, de dimension 60 à 80 m de hauteur 10 à 12 m.



Figure VI.1.1.3 : Structure du schisto-calcaire de la Nyanga : route place de l'indépendance de Tchibanga - pont de la Nyanga

A Dougandou et Louango on observe un affleurement sur place de poche de talc pur avec des traces d'oxyhydroxydes de fer, conduisant au talc brun sous un chapeau gréseux en grave avec présence des sillons, signes d'altérations dues au passage d'eau météoritique (Figure VI.1.1.4).



Figure VI.1.1.4 : Afleurement du talc brun de Dougandou – Louangao à Tchibanga

Du talc primaire pur entre les couches des carbonates montrent une structure redressée mylonitique cataclastique et un système de broyage (Figure VI.1.1.5). Nous constatons des particules lenticulaires dans la foliation redressée. Vers le cœur broyé des lentilles centimétriques peuvent atteindre 10 à 20 cm d'épaisseur. Les lentilles carbonatées alternent avec des lentilles de talc primaire. Localement, du talc primaire prédomine largement sur une épaisseur d'environ 10 cm. Une direction N130°E subverticale du talc primaire est observée à la (Figure VI.1.1.5). Dans ce talc primaire, intercalé dans les dolomites redressées et structurées, nous avons des dolomites carbonatées en lentilles (Figure VI.1.1.6).

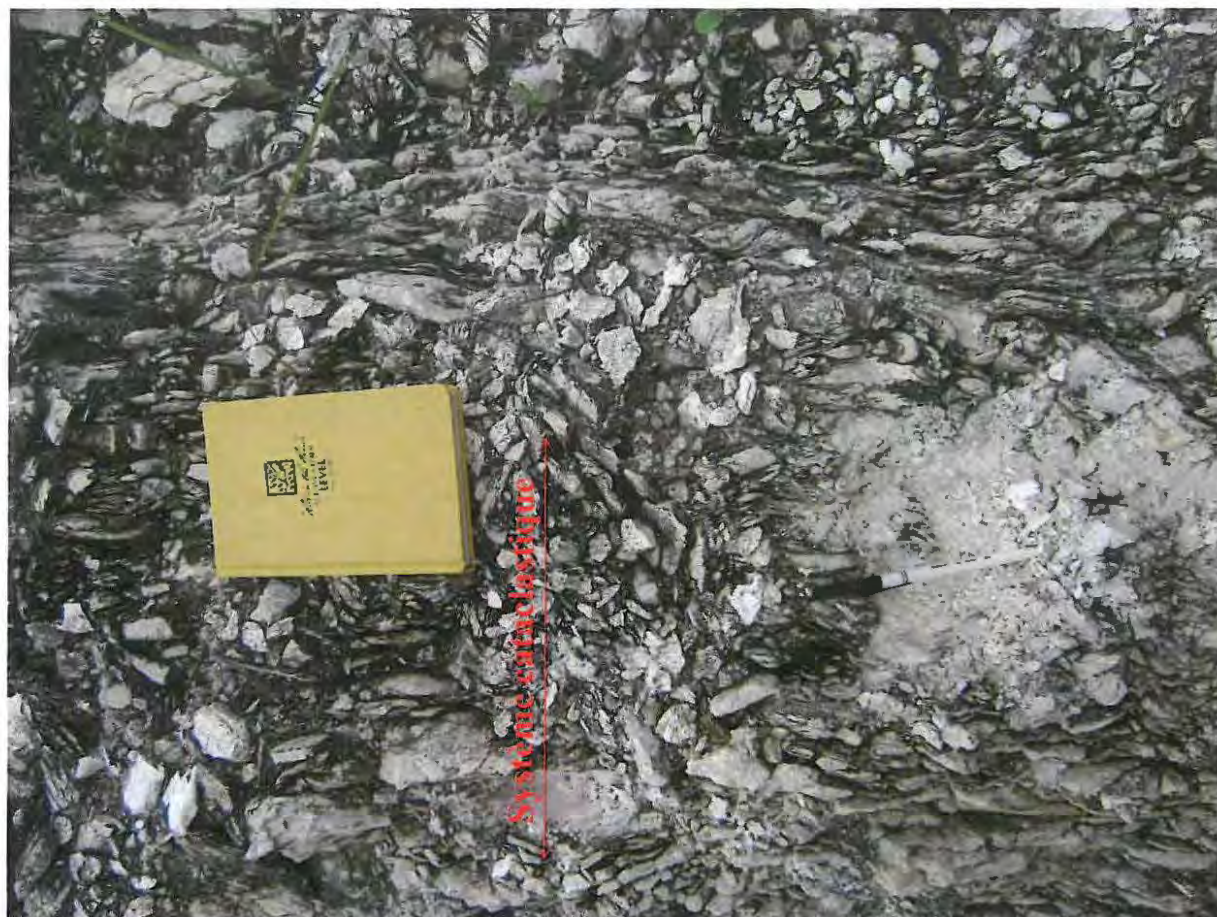


Figure VI.1.1.5 : Talc primaire et système de minéraux broyés de Mourindi dans la Nyanga

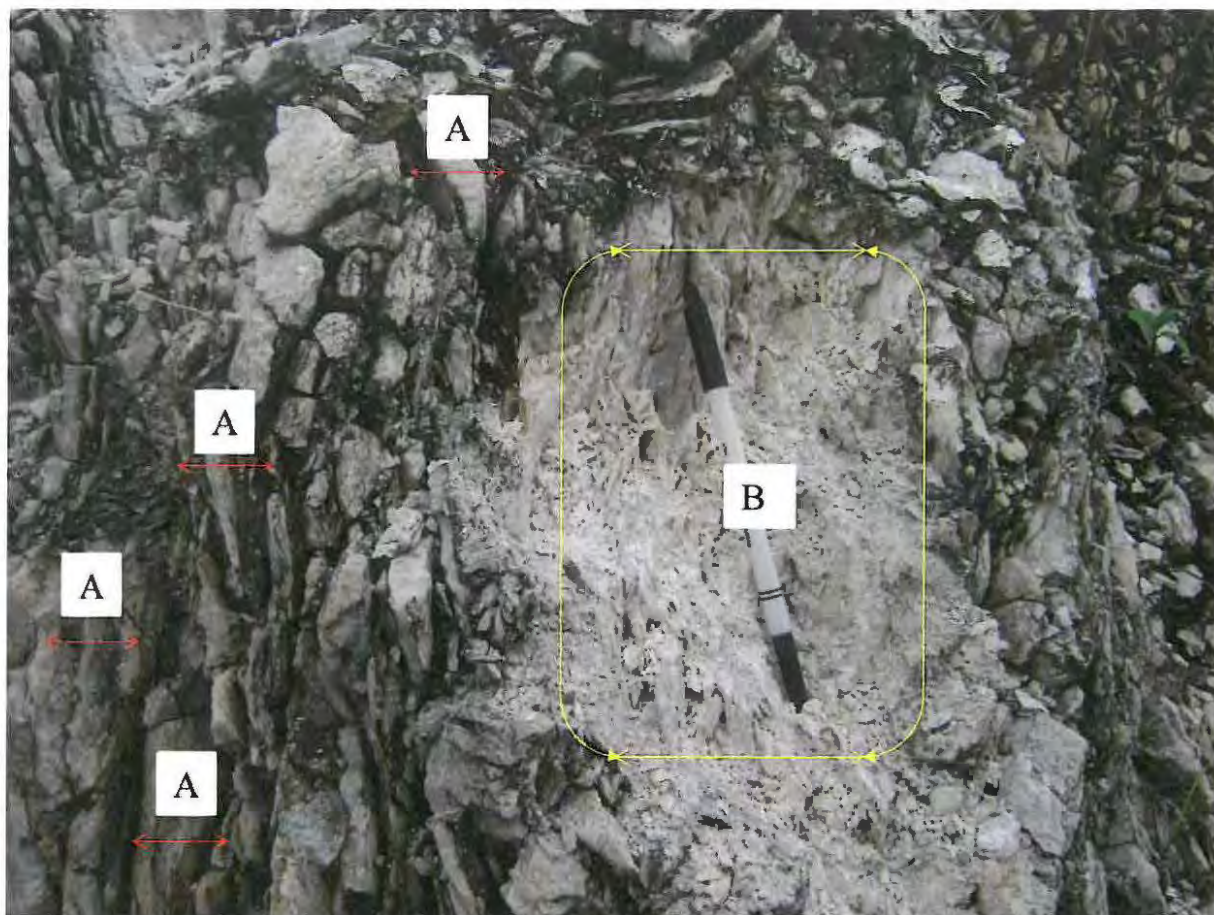


Figure VI.1.1.6 : Le niveau de talcschiste de structure redressée de 30 cm d'épaisseur (A) et la structure dolomitique poudreuse (B) de Mourindi dans la Nyanga

VI.1.2. Localisation des sites de prélèvement du talc de Tchibanga

L'inventaire du talc de Tchibanga dans différents sites conduit à l'élaboration de la carte de situation (Figure VI.1.2).

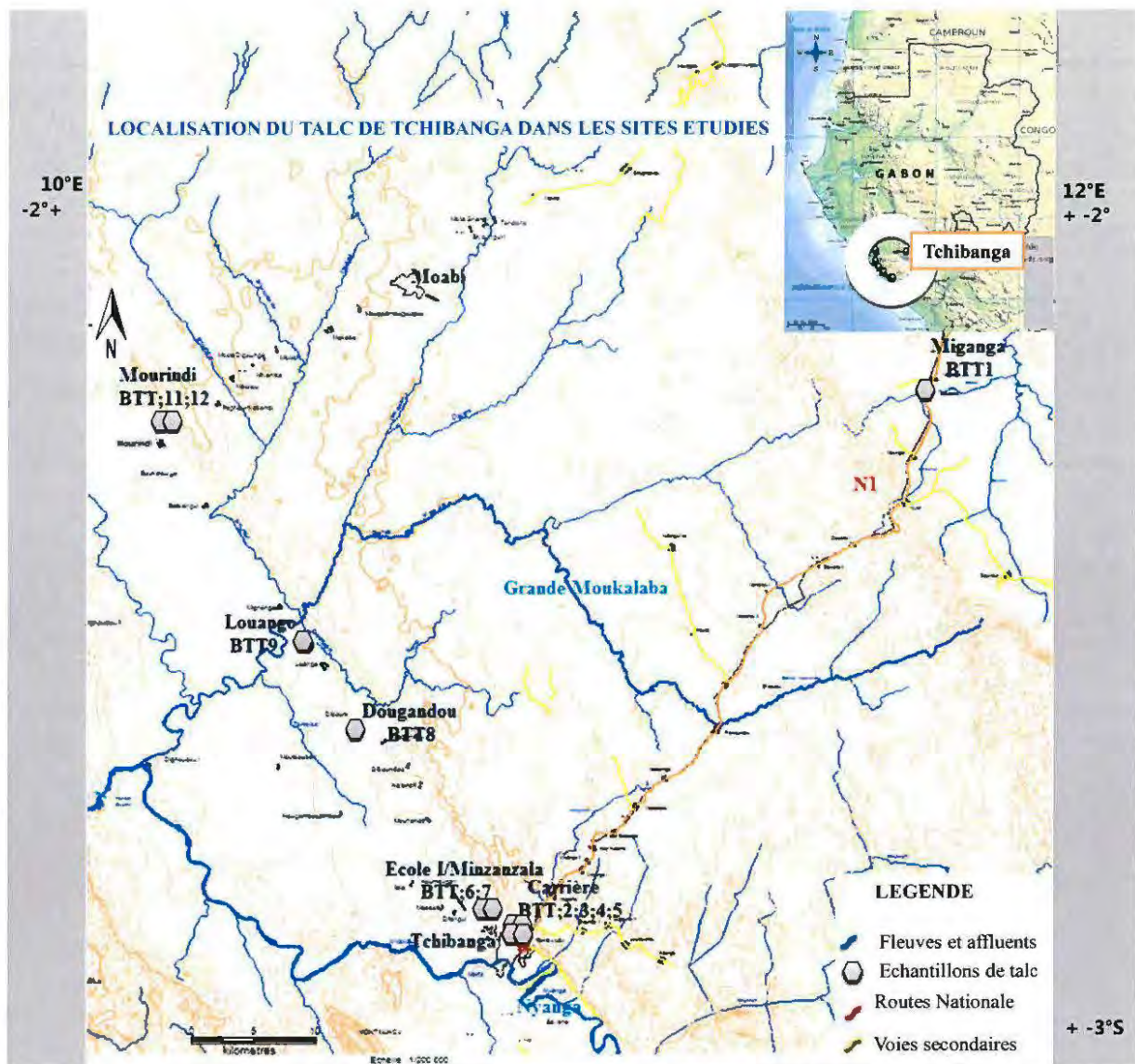


Figure VI.1.2 : Carte de Situation du Talc de Minganga, Tchibanga et des districts de Dougandou, Louango et Mourindi

VI.2. Caractérisation fine du Talc cru : Résultats et Discussions

La dissolution de la dolomie par altération présente un potentiel économique plus intéressant que celui de la partie non altérée sous-jacente. Il est ici intéressant de signaler que sur le plan économique et du fait de la présence de deux types de gites primaire et secondaire, la nécessité de différencier la partie proche de la surface (jusqu'à des profondeurs de 10 à 30 m) mérite la primeur de faire une caractérisation fine afin d'identifier les minéraux associés au talc. Au regard des résultats des figures (Figure VI.2.3.1, Figure VI.2.4.1, Figure VI.2.5.1, Figure VI.2.6.1, Figure VI.2.6.2, Figure VI.2.7.1.1 et Figure VI.2.7.1.2), nous remarquons la présence de talc, caractérisé par les pics principaux identifiés par diffractions des rayons X sur roche totale par comparaison aux banques de données existantes (Thorez, 1975). Dans les matériaux de Tchibanga et ses environs, les pics principaux des talcs pour l'ensemble de la série sont à 9,32 Å pour Minganga (BTT1), 9,35 Å pour la Carrière (BTT2, BTT3 et BTT4), 9,32 Å pour l'Ecole I (BTT6 et BTT7), 9,35 Å pour Dougandou (BTT8), 9,31 Å pour

Louango (BTT9), 9,35 Å et 9,39 Å pour Mourindi respectivement aux échantillons (BTT11 et BTT12). La variation des valeurs des pics principaux de talc dans Tchibanga et ses environs montre un talc variable selon le type de gîtes. Dans les matériaux minéraux de Tchibanga et ses environs des [tableaux \(VI.2.3.3, VI.2.4.4, VI.2.5.4, VI.2.6.4 et VI.2.7.4\)](#), le talc est le minéral essentiel pour toutes les séries associé au quartz. A cette liste s'ajoutent les minéraux accessoires, la dolomite et la calcite dans les échantillons BTT11 et BTT12 ([Tableau VI.2.7.4](#)). Les faibles teneurs en aluminium indiquent que les minéraux argileux dioctaédriques, bien que présents dans tous les matériaux, sont en traces ([Tableau VI.2.1](#)). Nous notons la présence de kaolinite et de chlorite dans les échantillons BTT2, BTT3 et BTT4 de la Carrière où les principaux pics respectifs sont à 7,14 Å pour la kaolinite et à 14 Å pour la chlorite. La présence, dans la région de structures schisto-calcaires ([Figure VI.1.1.3](#)), de systèmes cataclastiques de minéraux broyés ([Figure VI.1.1.5](#)) et redressés ([Figure VI.1.1.6](#)) montrent qu'il s'agit des formations de faible métamorphisme de dolomie en contact avec les roches acides ([Robert et Bousquet, 2013](#)). La présence des grès explique la forte teneur en silice ([Tableau VI.2.1](#)). Dans la géologie de la région de Tchibanga et ses environs, au complexe éburnéen (2080-1980 Ma), des granites sont mentionnés sur la carte géologique du Gabon : granites, granites leucocrates, granites porphyroïdes, granodiorites et tonalites ([Thiéblemont et al., 2009](#)) justifiant bien la présence de roches alumineuses acides au contact des dolomies et calcaires. Dans l'ensemble, les matériaux minéraux des différentes séries des talcs de Tchibanga ont des formes feuilletées, lenticulaires à lamellaires en microscopie à balayage ([Figure VI.2.4.3](#), [Figure VI.2.5.3](#), [Figure VI.2.6.3](#) et [Figure VI.2.7.3](#)). La spectroscopie infrarouge des matériaux minéraux de Tchibanga et ses environs montrent des bandes caractéristiques des elongations des OH, de l'hydratation et l'elongation des OH, de l'hydratation et de déformation de HOH, de traces de carbonates, des elongations de Si-O, des déformations Si-O, de déformation de OH, et des elongations de MgO. La reconnaissance des bandes caractéristiques se fait selon les attributions proposées par [Van Olphen et Fripiat, \(1979\)](#). Pour évaluer de manière efficace les teneurs en différentes phases qui composent les matériaux minéraux talcs dans la région de Tchibanga et ses environs, nous nous fondons sur les connaissances qualitatives des différentes phases fournies par la Diffraction des Rayons X ([Brindley et Brown, 1980](#)) sur roches totale, la Microscopie Electronique à Balayages et l'exploitation des résultats des analyses chimiques. Les teneurs massiques des phases se trouvent dans les [tableaux VI.2.3.4, VI.2.4.5, VI.2.5.5, VI.2.6.6 et VI.2.7.5](#). Les résultats mentionnés dans les [tableaux VI.2.3.4, VI.2.4.5, VI.2.5.5, VI.2.6.6 et VI.2.7.5](#), nous permettent de calculer les pourcentages approximatifs des oxydes des phases monominérales caractéristiques afin de prévoir la paragenèse des minéraux par leur représentation dans un diagramme triangulaire où les feldspaths sont presque inexistantes ([Nicollet, 2010](#)). Les champs de composition des principales roches sédimentaires (pélites ou carbonates) et leurs minéraux paragenétiques peuvent être représentés dans le couple ACF-A'KF ([Kornprobst, 2001](#)). Cette représentation est assurée à partir des formules structurales décomposées des phases monominérales talcschistes ([Kretz, 1983 ; Fettes et Desmons, 2007](#)). La formule de la chlorite commune aux matériaux talcschistes de Tchibanga est $Mg_{(6-x-y)}Fe_yAl_x(Si_{(4-x)}Al_x)O_{10}(OH)_8$ comme nous pouvons le constater dans les manuscrits de ([Johnsen, 2010 ; Nicollet, 2010 ; Montel et Martin, 2014](#)).

VI.2.1 : Analyse chimiques des éléments majeurs et mineurs des talcschistes de Tchibanga et ses environs

Les analyses chimiques des majeurs (Tableau VI.2.1) montrent que les oxydes des éléments majeurs sont proches des moyennes des éléments chimiques définie par Clarke et Goldschmidt (Pomerol *et al.*, 2011). Ces valeurs sont au-dessus de la teneur moyenne d'éléments chimiques trouvés à la surface de la terre (Foucault and Raoult, 2005). Les oxydes SiO₂ des matériaux BTT1, BTT2, BTT3, BTT4, BTT6 et BTT9 dépassent les 59 %. Aussi, les oxydes MgO des matériaux BTT2, BTT3, BTT4, BTT6, BTT9, BTT11 et BTT12 ont des valeurs moyennes à 15 %. Excepté le matériau BTT11 pour qui le pourcentage de silice est à 19,60 %, le matériau BTT1 qui a aussi le pourcentage de MgO de 2,47 % montre la valeur basse définie par Clarke et Goldschmidt (3,30 %). Suivant la loi de la répartition et d'association des éléments majeurs (teneurs > à 1 %) et mineurs (entre 1 et 0,1 %) le magnésium et le silicium sont en proportion majoritaire. Les matériaux minéraux talcschistes de Tchibanga et ses environs sont des talcs sableux à argileux chlorito-kaolinique à 3,90% de teneur moyen en chlorite (Tableau VI.2.4.4, Tableau VI.2.5.4, Tableau VI.2.6.4 et Tableau VI.2.7.4) et 0,97% de teneur moyenne en kaolinite (Tableau VI.2.4.4, Tableau VI.2.5.4 et Tableau VI.2.6.4).

Tableau VI.2.1 : Analyse chimiques des éléments majeurs des talcschistes de Tchibanga et de ses environs

Echantillons	BTT1	BTT2	BTT3	BTT4	BTT6	BTT7	BTT8	BTT9	BTT11	BTT12
SiO ₂ %	94,45	69,83	70,31	75,34	72,59	64,93	63,32	82,03	19,60	36,79
Al ₂ O ₃ %	0,73	1,13	1,05	1,12	0,77	0,34	1,61	0,61	0,04	0,06
Fe ₂ O ₃ %	0,14	0,36	0,28	0,42	0,20	0,05	0,69	0,44	< L.D.	< L.D.
MnO %	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO %	2,47	23,04	22,02	18,34	21,80	28,65	27,97	13,66	22,69	27,45
CaO %	0,15	0,06	0,06	0,07	0,04	<L.D.	<L.D.	0,03	22,05	12,45
Na ₂ O %	0,02	0,14	0,14	0,11	0,08	0,11	0,10	0,05	0,04	0,09
K ₂ O %	<L.D.	0,04	0,04	0,08	0,01	0,01	<L.D.	<L.D.	< L.D.	< L.D.
TiO ₂ %	0,12	0,05	0,04	0,05	0,03	<L.D.	0,03	0,03	< L.D.	< L.D.
P ₂ O ₅ %	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	<L.D.	< L.D.	< L.D.
P.F %	1,16	4,79	4,71	4,13	4,33	5,17	5,86	2,99	34,44	22,36
Total %	99,23	99,43	98,65	99,67	99,85	99,25	99,59	99,84	98,87	99,20

VI.2.2. Analyse chimiques des éléments en traces des talcschistes de Tchibanga et de ses environs

Les éléments en traces (< 0,1 %) montrent, pour l'ensemble des échantillons, la présence de Baryum qui a des valeurs croissantes de 9,608 ppm pour BTT1, 10,97 ppm pour BTT2, 12,43 ppm pour BTT3, 15,87 ppm pour BTT4 puis décroît dans les matériaux BTT6 à BTT12. Vue la disposition de la formation schisto-gréseuse, le matériau BTT1 de Minganga est situé à l'Est et les matériaux de la Carrière (BTT2, BTT3 et BTT4) sont situés au sud-est. Les

matériaux BTT6 à BTT12 sont situés à l'Ouest. Aussi, les teneurs non négligeable de Cérium, Cobalt, Dysprosium, Holmium, Lanthane, Néodyme, Praséodyme, Samarium, Uranium, Vanadium (Tableau VI.2.2) pour la quasi-totalité des matériaux montre que les éléments en traces observés dans les schisto-gréseux et schisto-calcaires proviennent des roches mantéliques justifiée par les failles dues aux mouvements tectoniques dans la région puis drainés dans le bassin (Figure II.1.1.2 et Figure VI.1.2). En hypothèse, nous suggérons que le talc de Tchibanga est un talc d'origine hydrothermale par la présence dans l'ensemble des matériaux des éléments chalcophiles à sidérophiles sans limite de détection.

Tableau VI.2.2 : Analyse chimiques des éléments en traces des talcschistes de Tchibanga et ses environs

Echantillons	BTT1	BTT2	BTT3	BTT4	BTT6	BTT7	BTT8	BTT9	BTT11	BTT12
As(ppm)	< L.D.	1,15	1,25	1,72	< L.D.	< L.D.	1,21	1,38	< L.D.	< L.D.
Ba	9,61	10,97	12,43	15,87	3,94	2,78	< L.D.	1,62	2,27	2,21
Be	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Bi	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Cd	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Ce	1,66	11,49	13,34	17,02	8,95	0,37	50,62	15,08	0,28	0,19
Co	0,26	3,65	1,86	9,63	0,35	0,22	1,54	0,83	0,46	0,37
Cr	12,18	12,67	14,13	14,74	20,42	13,44	13,32	19,78	< L.D.	< L.D.
Cs	< L.D.	0,20	0,16	0,33	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Cu	< L.D.	5,95	5,03	7,86	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Dy	0,13	3,59	3,22	2,97	0,59	0,32	0,60	0,26	0,01	0,03
Er	0,09	2,76	2,44	2,27	0,30	0,21	0,28	0,14	< L.D.	0,01
Eu	0,02	0,72	0,63	0,69	0,19	0,08	0,13	0,06	0,01	< L.D.
Ga	1,4	0,81	0,73	0,94	0,95	0,21	0,63	0,50	< L.D.	< L.D.
Gd	0,10	3,44	3,03	3,07	0,78	0,33	0,83	0,36	< L.D.	0,02
Ge	0,19	< L.D.	< L.D.	0,18	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Hf	0,44	0,25	0,20	0,26	0,15	0,05	0,38	0,19	< L.D.	< L.D.
Ho	0,03	0,85	0,76	0,7	0,11	0,07	0,11	0,05	0,00	0,00
In	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
La	1,06	14,5	12,97	13,82	5,75	0,95	5,75	2,56	0,18	0,14
Lu	0,02	0,48	0,42	0,39	0,04	0,04	0,03	0,02	< L.D.	< L.D.
Mo	0,63	0,53	< L.D.	0,75	< L.D.	< L.D.	< L.D.	0,53	< L.D.	< L.D.
Nb	2,61	0,66	0,57	0,71	0,48	0,14	0,42	0,45	< L.D.	< L.D.
Nd	0,69	16	13,75	15,97	5,66	1,54	3,18	1,53	0,10	0,11
Ni	< L.D.	< L.D.	< L.D.	8,00	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Pb	1,19	3,92	3,54	5,17	1,78	< L.D.	6,97	4,97	< L.D.	< L.D.
Pr	0,20	3,89	3,40	3,86	1,43	0,33	0,90	0,41	0,03	0,03
Rb	< L.D.	1,40	1,28	2,32	0,41	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Sc	< L.D.	2,76	2,5	2,83	1,23	< L.D.	1,81	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Sb	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Sm	0,12	3,26	2,78	3,20	1,01	0,36	0,59	0,28	0,02	0,02
Sn	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Sr	4,77	3,08	2,89	3,53	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	63,97	35,32
Ta	0,23	0,06	0,05	0,06	0,04	0,01	0,04	0,04	< L.D.	< L.D.
Tb	0,02	0,55	0,49	0,47	0,11	0,05	0,10	0,05	< L.D.	< L.D.
Th	0,45	0,75	0,62	0,80	0,49	0,15	2,43	1,03	< L.D.	0,04
Tm	0,01	0,43	0,38	0,36	0,05	0,03	0,04	0,02	0,00	0,00
U	0,35	0,97	0,79	1,01	0,31	0,16	0,36	0,39	0,10	0,06
V	8,64	13,46	11,57	14,1	8,92	6,64	14,85	11,39	4,62	5,60
W	0,56	0,46	0,62	0,50	0,52	0,36	< L.D.	0,59	< L.D.	< L.D.
Y	1,11	33,55	30,25	27,44	3,24	1,93	3,96	1,64	< L.D.	0,41
Yb	0,11	2,95	2,57	2,45	0,29	0,24	0,24	0,12	< L.D.	0,01
Zn	< L.D.	13,04	< L.D.	14,62	11,37	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.	< L.D.
Zr	18,41	8,60	6,81	9,01	5,69	2,01	14,4	7,67	< L.D.	< L.D.

VI.2.3. Talc de Minganga (BTT1)

Les matériaux minéraux de Minganga (BTT1) sont des talcschistes à schisto-gréseux, sable fin plus ou moins argileux blanc.

VI.2.3.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Minganga (BTT1)

Le diffractogramme-X sur roche totale montre les seuls minéraux majeurs talc et quartz (Figure VI.2.3.1). Les minéraux identifiés par diffraction-X sur roche totale ont des équidistances réticulaires suivantes :

Talc : 9,32 Å ; 3,12 Å ; 4,66 Å ; 4,56 Å ;

Quartz : 3,34 Å ; 4,25 Å ; 1,82 Å ; 2,46 Å ; 2,28 Å ; 2,13 Å ; 2,24 Å ; 1,98 Å.

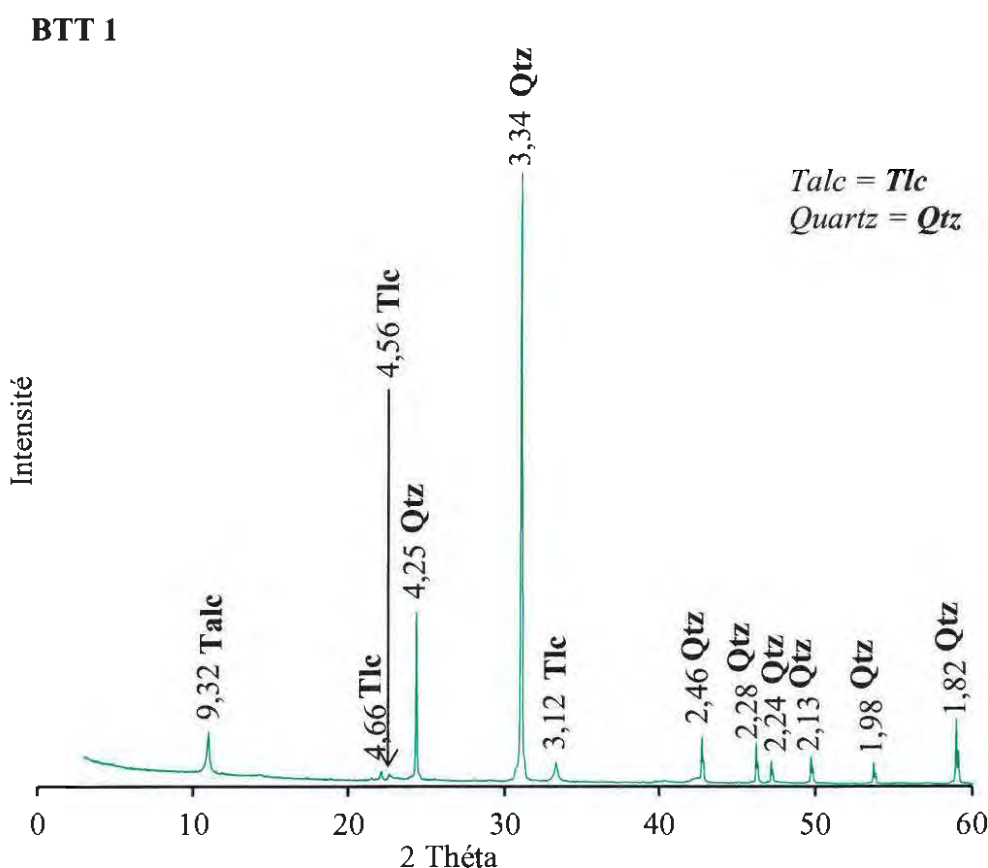


Figure VI.2.3.1: Diffractogramme-X sur roche totale de Minganga

VI.2.3.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de Minganga (BTT1)

VI.2.3.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de Minganga (BTT1)

Les spectres Infrarouge en transmission sont reportés en figure VI.2.3.2.1. Les bandes à 3697 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} , 3651 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} , sont celles des élongations OH probablement des minéraux argileux comme la kaolinite autre que le talc et le quartz. La bande à 3437 cm^{-1} est attribuée à l'hydratation et l'élongation des OH. La bande à 1624 cm^{-1} celle de l'hydratation et la déformation de HOH. Les bandes 1080 cm^{-1} et 1024 cm^{-1} sont celles des élongations de SiO. Les attributions des autres bandes sont définies comme suit :

918 cm^{-1} (déformation de OH), 796 cm^{-1} , 779 cm^{-1} , et 694 cm^{-1} (déformation de SiO) ; 669 cm^{-1} (déformation de OH) ; 530 cm^{-1} (élongation de MgO). Les petites bandes vers 2950 cm^{-1} correspondraient aux élongations de protons de la matière organique.

SERIE BTT DE MINGANGA

INFRAROUGE EN TRANSMISSION

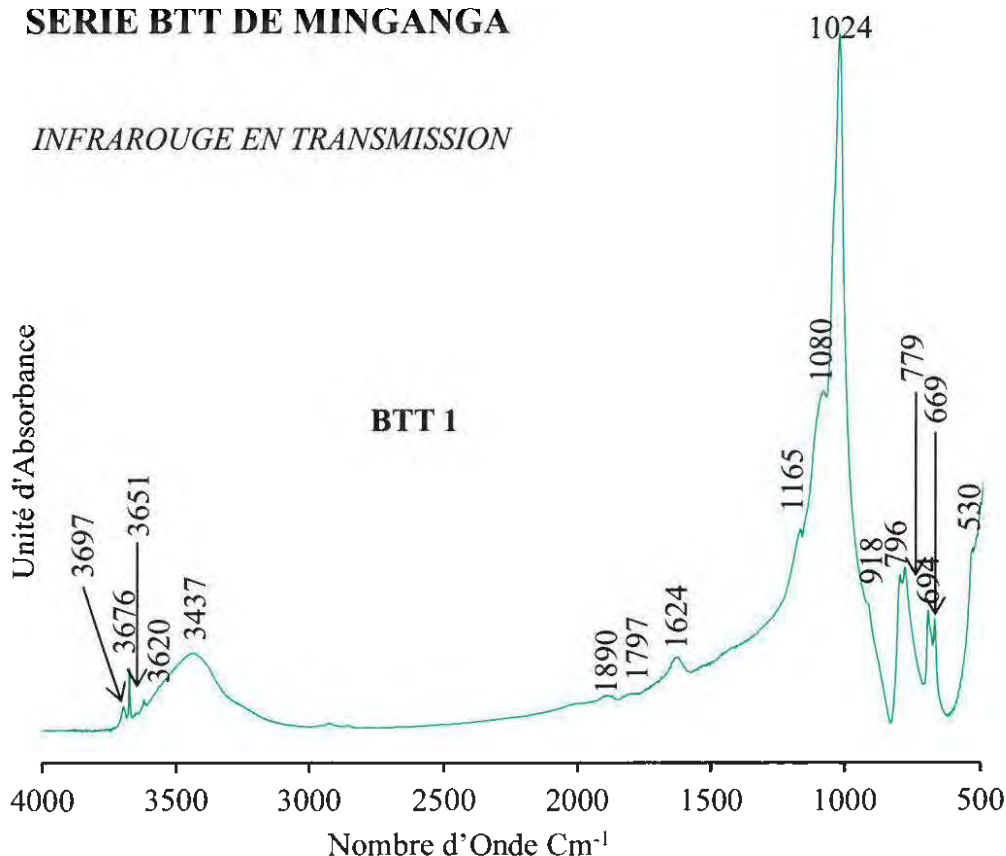


Figure VI.2.3.2.1 : Spectre infrarouge en Transmission sur roche totale de Minganga (BTT1)

VI.2.3.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réflexion Diffuse sur roche totale de Minganga (BTT1)

Les bandes caractéristiques de l'Infrarouge en Réflexion Diffuse ont des élongations OH dans le domaine 3697 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} , 3653 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} (Figure VI.2.3.2.2) contrairement à celles pour le même domaine de la figure VI.2.3.2 du matériau BTT1. Ainsi, dans la figure VI.2.3.2.2, les attributions des bandes sont :

3400 cm^{-1} et 3435 cm^{-1} (élongation et hydratation de OH) ; 1683 cm^{-1} , 1610 cm^{-1} , 1527 cm^{-1} et 1491 cm^{-1} (hydratation et la déformation de HOH) ; 1276 cm^{-1} , 1159 cm^{-1} , 1115 cm^{-1} et 1012 cm^{-1} (élongation de SiO) ; 914 cm^{-1} (déformation de OH) ; 799 cm^{-1} et 695 cm^{-1} (déformation de SiO) ; 668 cm^{-1} (déformation de OH). La petite bande bien résolue sur la bande large de l'élongation de protons de l'eau moléculaire serait attribuable à la gibbsite. Signalons aussi les bandes mineures 2238 et 2135 qui pourraient correspondre à de la matière organique.

SERIE BTT DE MINGANGA

INFRAROUGE EN REFLEXION DIFFUSE

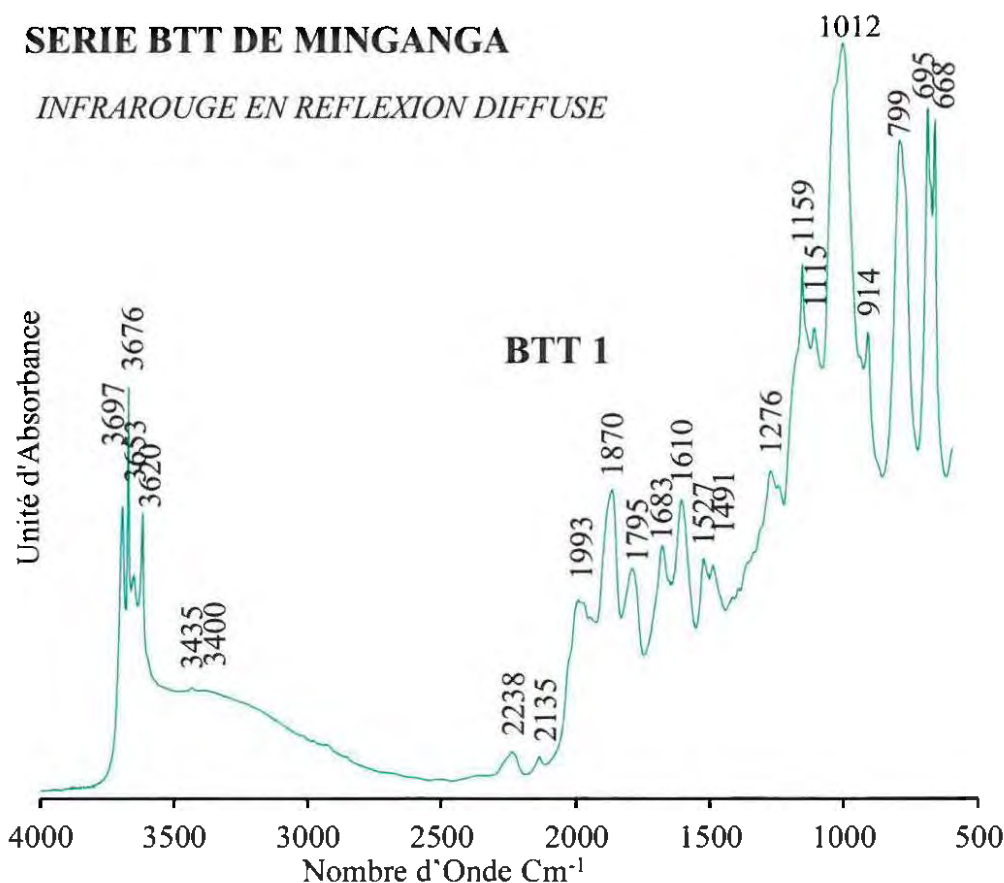


Figure VI.2.3.2.2 : Spectre infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Minganga (BTT1)

VI.2.3.3. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minganga

Les teneurs massiques calculées dans le matériau BTT1 ([Tableau VI.2.3.3](#)) révèlent 7,56% de talc et 89,66% de quartz. Les minéraux en traces et impuretés non identifiés associés à ce talc riche en quartz sont dans la proportion de teneurs massiques dites Autres à 2,78 %.

Tableau VI.2.3.3 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minganga

Localité	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
Minganga	BTT1	Quartz	SiO ₂	89,66	99,22
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	7,56	
		Autres			0,78

Les proportions massiques des oxydes de deux phases monominérales (talc et quartz) caractéristiques du schisto-gréseux de matériau minéraux BTT1 de Minganga sont calculées à partir des modèles développés au chapitre III dans sa partie III.4 de ce mémoire de thèse.

Pour le talc : % SiO₂ = 26, 70; % MgO = 13,43 ; **Pour le Quartz :** % SiO₂ = 57,87.

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales talcschistes calculées contextualisées dans le matériau talc BTT1 sont:

Pour le talc : % SiO_2 = 29,82 ; % MgO = 2,47 ; Pour le Quartz : % SiO_2 = 64,63

VI.2.4. Talc de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

Les matériaux de talc de la Carrière, sont des minéraux talcschistes à schisto-gréseux à kaolinite et chlorite.

VI.2.4.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

Les sites de prélèvement des matériaux minéraux de la carrière renferment des ressources riches en talc. Le talc de la carrière est un talc mélangé à des sables fins argileux. Le diffractogramme de rayons X montre des matériaux à talc, quartz, kaolinite et chlorite. Leurs identifications se font selon les valeurs d'équidistances suivantes (Figure VI.2.4.1) :

Talc : 9,35 Å ; 3,12 Å ; 4,68 Å ; 2,23 Å ; 1,87 Å ;

Quartz : 3,34 Å ; 4,25 Å ; 1,82 Å ; 2,46 Å ; 2,34 Å ; 2,28 Å ; 2,13 Å ;

Chlorite : 14 Å ;

Kaolinite : 7,14 Å ; 2,34 Å.

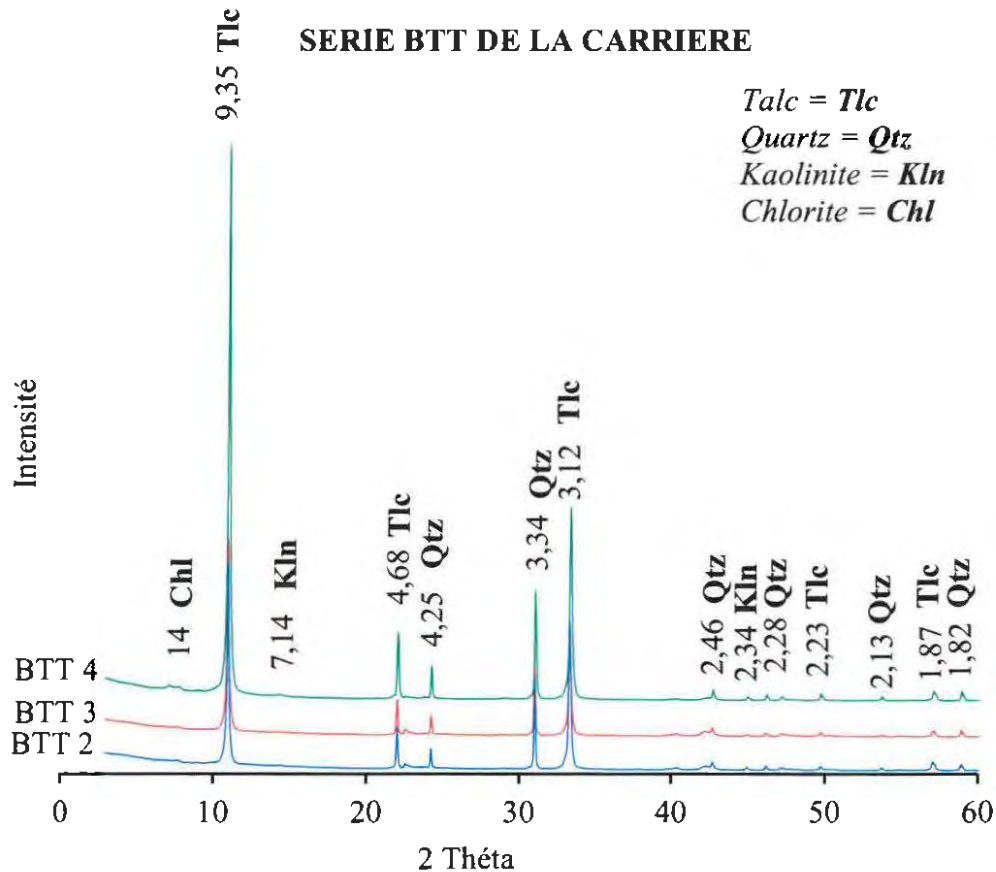


Figure VI.2.4.1: Diffractogrammes-X sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 ; 4)

VI.2.4.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

VI.2.4.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

Les talcschistes de la carrière au quartier Ibanga sont caractérisés par des bandes infrarouges dans la [figure VI.2.4.2.1](#). Les attributions des bandes à 3698 cm^{-1} , à 3676 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} montrent les élongations des OH structuraux, 3434 cm^{-1} (hydratation et élongation de OH de l'eau moléculaire). Les bandes 1638 cm^{-1} (hydratation et la déformation de HOH) ; 1165 cm^{-1} , 1083 cm^{-1} et 1022 cm^{-1} (élongation de SiO) ; 796 cm^{-1} , 780 cm^{-1} et 694 cm^{-1} (déformation de SiO).

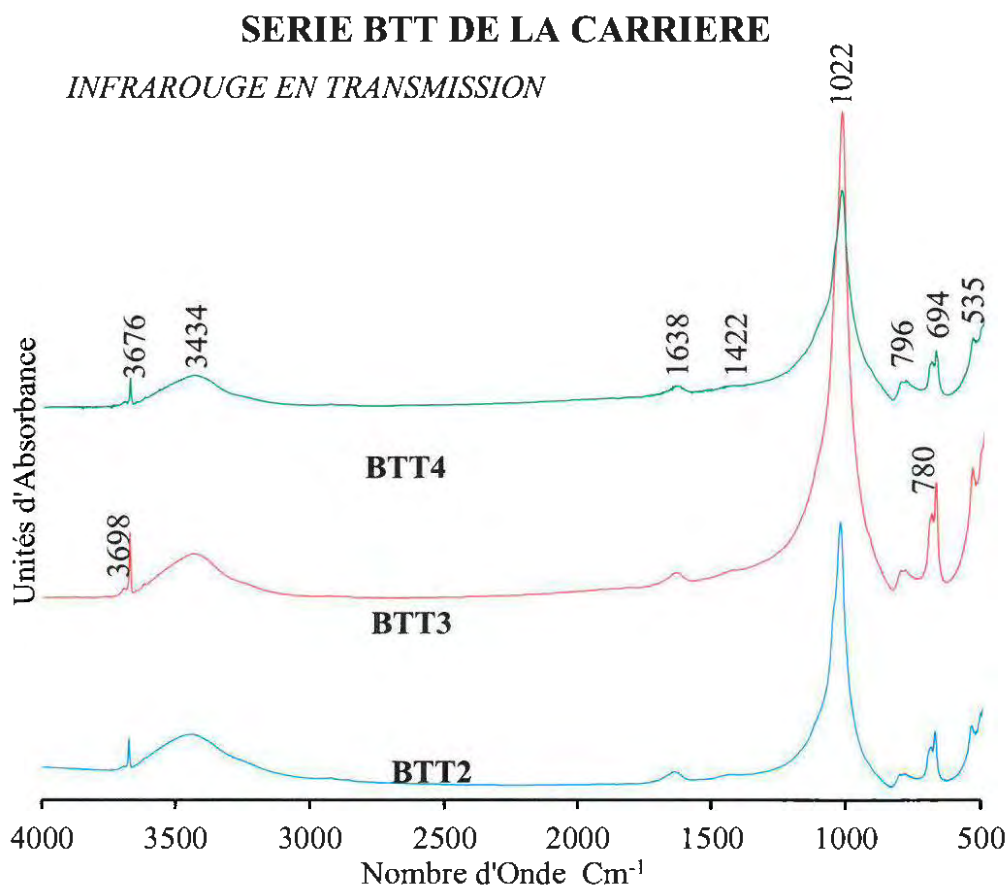


Figure VI.2.4.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

VI.2.4.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réflexion Diffuse sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

Les spectres infrarouges en réflexion diffuse, sont reportés en [figure VI.2.4.2.2](#). Les bandes 3698 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} , 3652 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} sont les bandes caractéristiques des elongations OH ; la bande large centrée sur 3435 cm^{-1} correspond à l'elongation du proton dans l'eau moléculaire et l'amorce de petite bande résolue correspond à l'elongation d'un proton structural de la gibbsite. La bande 1684 cm^{-1} (déformation de HOH) ; les bandes 1609 cm^{-1} , 1527 cm^{-1} et 1491 cm^{-1} (hydratation et déformation de HOH) ; 1159 cm^{-1} et 1023 cm^{-1} (elongation de SiO) ; 914 cm^{-1} (déformation de OH) ; 799 cm^{-1} et 696 cm^{-1} (déformation de SiO) ; 668 cm^{-1} (déformation de OH).

SERIE BTT DE LA CARRIERE

INFRAROUGE EN REFLEXION DIFFUSE

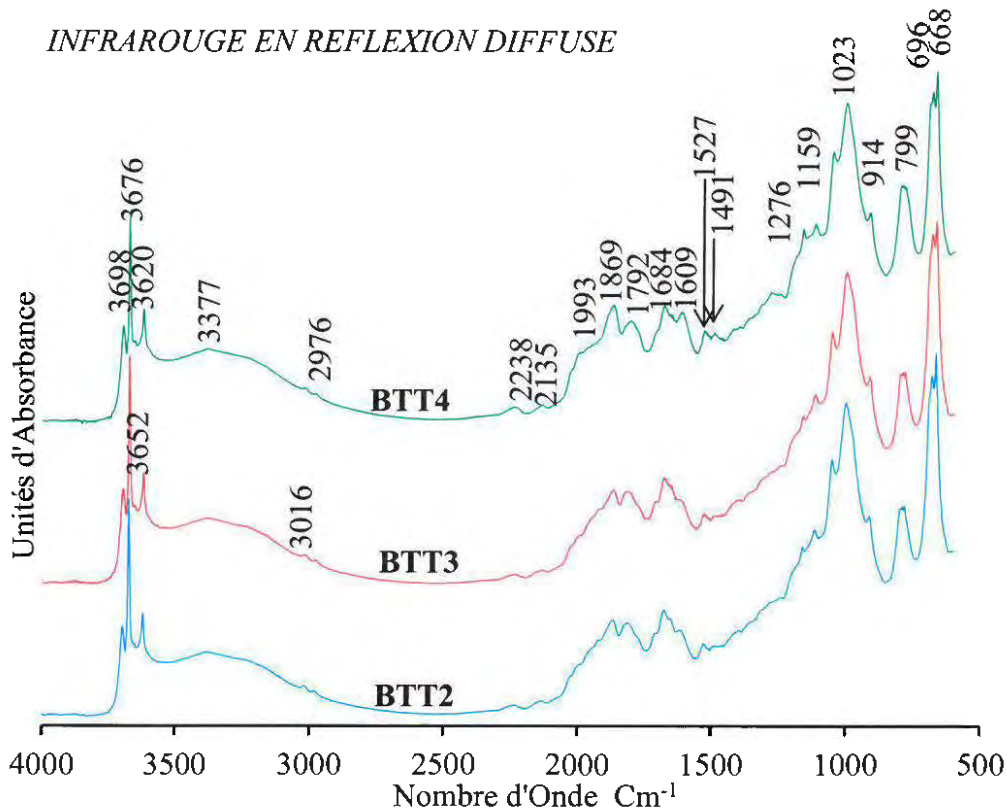


Figure VI.2.4.2.2 : Spectres infrarouge en Réflexion Diffuse sur roche totale de la Carrière quartier Ibanga (BTT : 2 ; 3 et 4)

VI.2.4.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT : 2 ; 3 et 4) de la fraction grossière et fraction fine de la Carrière quartier Ibanga sur roche totale.

La morphologie d'ensemble du matériau de la carrière présente des structures lamellaires indurées d'oxydes de fer (boule ovoïde blanche) et des grains fins de quartz massiques compacts plus ou moins fibreux (Figure VI.2.4.3). En (A, B et C), des textures écaillées, libres et ailées. Les textures (D, E, F et G) présentent des aspects rugueux feuilletés à pseudo hexagonaux.

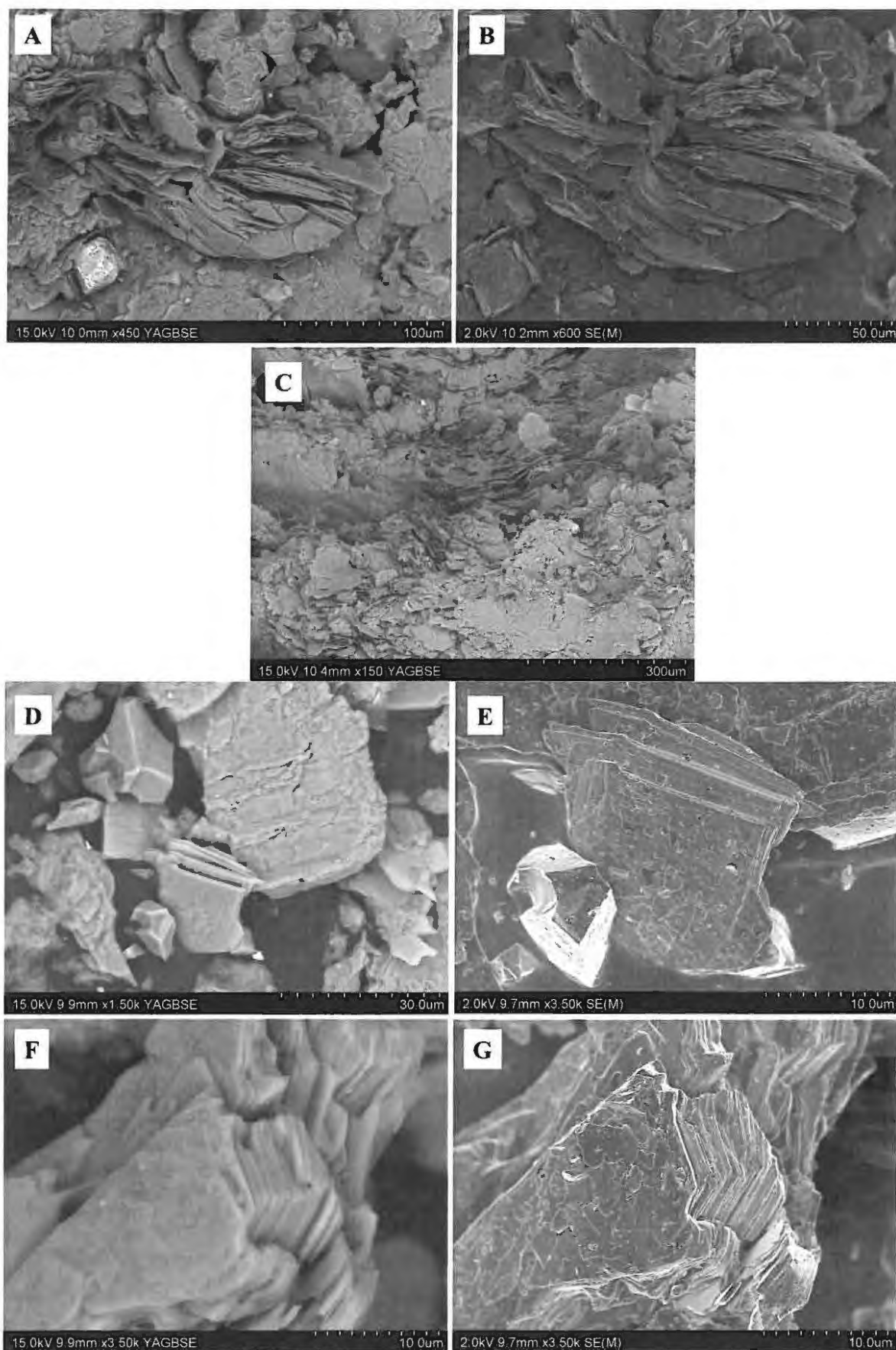


Figure VI.2.4.3 : Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT : 2 ; 3 et 4) de la fraction grossière (A ; B ; C) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de la Carrière quartier Ibanga sur roche totale

VI.2.4.4. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux (BTT : 2 ; 3 et 4) de la Carrière quartier Ibanga

Les teneurs massiques calculées dans les matériaux minéraux de la carrière renseignent sur la prépondérance de talc suivant les échantillons (BTT2, BTT3 et BTT4) (Tableau VI.2.4.4). Les pourcentages moyens des teneurs massiques des minéraux caractéristiques des matériaux (BTT2, BTT3 et BTT4) sont : talc 62,38 % ; quartz 30,12 % ; chlorite 5,47 % ; kaolinite 1,02 %. Les matériaux minéraux non identifiés qualifiés d'Autres ont une teneur en pourcent moyen de 1,01 %.

Tableau VI.2.4.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de la Carrière

Localité	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
Carrière	BTT2	Quartz	SiO ₂	24,42	99,20
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	68,28	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1,12	
		Chlorite	Mg _(6-x-y) Fe _y Al _x (Si _(4-x) Al _x)O ₁₀ (OH) ₈	5,38	
		Autres			0,80
	BTT3	Quartz	SiO ₂	26,46	97,91
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	65,97	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1,30	
		Chlorite	Mg _(6-x-y) Fe _y Al _x (Si _(4-x) Al _x)O ₁₀ (OH) ₈	4,19	
		Autres			2,09
	BTT4	Quartz	SiO ₂	39,49	99,86
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	52,88	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,64	
		Chlorite	Mg _(6-x-y) Fe _y Al _x (Si _(4-x) Al _x)O ₁₀ (OH) ₈	6,84	
		Autres			0,14

Les proportions massiques des oxydes de deux phases monominérales (talc, quartz, chlorite et kaolinite) caractéristiques du schisto-gréseux des matériaux minéraux (BTT2, BTT3 et BTT4) de la Carrière à Tchibanga sont calculées à partir des modèles développés au chapitre III dans sa partie III.4 de ce mémoire de thèse.

BTT2 :

Talc: $MgO = 26,57 \%$; $SiO_2 = 52,81 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 4,70 \%$

Chlorite: $MgO = 2,56 \%$; $Al_2O_3 = 1,39 \%$; $SiO_2 = 3,27 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,45 \%$; $SiO_2 = 0,53 \%$

BTT3 :

Talc: $MgO = 26,60 \%$; $SiO_2 = 52,82 \%$

Quartz: $SiO_2 = 5,25 \%$

Chlorite: $MgO = 2,73 \%$; $Al_2O_3 = 1,23 \%$; $SiO_2 = 2,90 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,67 \%$; $SiO_2 = 0,79 \%$

BTT4 :

Talc: $MgO = 23,87 \%$; $SiO_2 = 47,45 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 8,85 \%$;

Chlorite: $MgO = 3,38 \%$; $Al_2O_3 = 1,20 \%$; $SiO_2 = 4,65 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,26 \%$; $SiO_2 = 0,31 \%$

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales talcschistes calculées contextualisées dans les matériaux talc (BTT2, BTT3 et BTT4) de la Carrière à Tchibanga:

BTT2 :

Talc: $MgO = 21,02 \%$; $SiO_2 = 60,15 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 5,35 \%$

Chlorite: $MgO = 2,02 \%$; $Al_2O_3 = 0,85 \%$; $SiO_2 = 3,72 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,28 \%$; $SiO_2 = 0,60 \%$

BTT3 :

Talc: $MgO = 20,29 \%$; $SiO_2 = 60,07 \%$

Quartz: $SiO_2 = 5,97 \%$

Chlorite: $MgO = 2,08 \%$; $Al_2O_3 = 0,68 \%$; $SiO_2 = 3,30 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,37 \%$; $SiO_2 = 0,90 \%$

BTT4 :

Talc: $MgO = 16,06 \%$; $SiO_2 = 58,36 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 10,88 \%$;

Chlorite: $MgO = 2,27 \%$; $Al_2O_3 = 0,60 \%$; $SiO_2 = 5,72 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,13 \%$; $SiO_2 = 0,38 \%$

VI.2.5. Talc de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6 ; BTT7)

Le matériau talcschiste de l'Ecole I (BTT6, BTT7) est de couleur brune ayant en son sein des minéraux de talc, quartz, chlorite et kaolinite.

VI.2.5.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

Le diffractogramme-X montre des minéraux à talc, quartz, chlorite et kaolinite identifiés à partir des équidistances des réflexions caractéristiques (Figure VI.2.5.1).

Ainsi ces identifications sont:

Talc : 9,32 Å ; 3,12 Å ; 4,68 Å ; 1,87 Å ; 2,23 Å ;

Quartz : 3,34 Å ; 4,26 Å ; 1,82 Å ; 2,46 Å ; 2,13 Å ; 2,34 Å ; 2,28 Å ;

Chlorite : 13,09 Å ;

Kaolinite : 7,18 Å ; 3,57 Å.

Dans les matériaux de la carrière (Figure VI.2.4.1), le pic 2,23 Å caractéristique du talc est plus intense que celui de 1,87 Å. Dans les matériaux de l'Ecole I, c'est le contraire, là le pic 2,23 Å est moins intense que celui à 1,87 Å du talc.

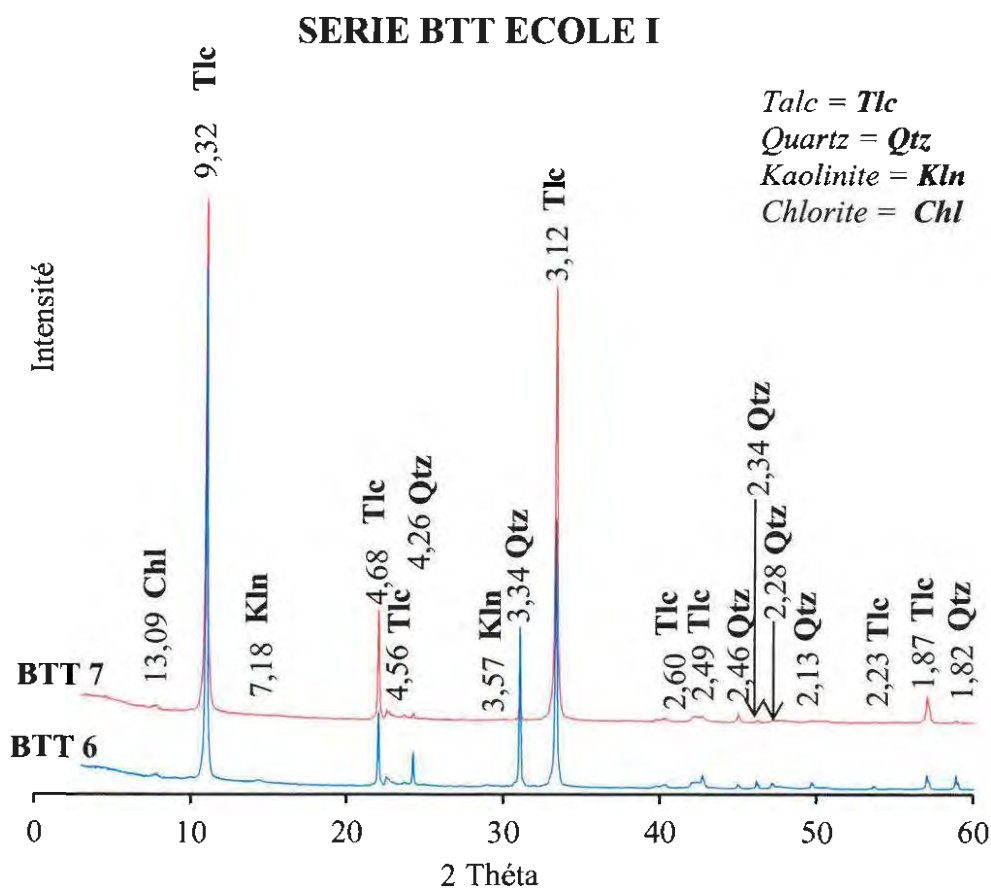


Figure VI.2.5.1: Diffractogrammes-X sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

VI.2.5.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

VI.2.5.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

La figure VI.2.5.2.1, présente des résultats obtenus à partir de l'analyse infrarouge en transmission du matériau talcschiste (BTT6, BTT7) de l'Ecole I. Les bandes caractéristiques sont attribuées comme suit :

3697 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} (élongations des OH structuraux); La bande à 3441 cm^{-1} (hydratation et l'élongation des OH) ; 1632 cm^{-1} (hydratation et la déformation de HOH) ; 1422 cm^{-1} (Traces possibles de carbonates) ; 1022 cm^{-1} (élongations de SiO) ; 794 cm^{-1} et 683 cm^{-1} (déformation de SiO) ; 668 cm^{-1} (déformation de OH) ; 534 cm^{-1} (élongation de MgO).

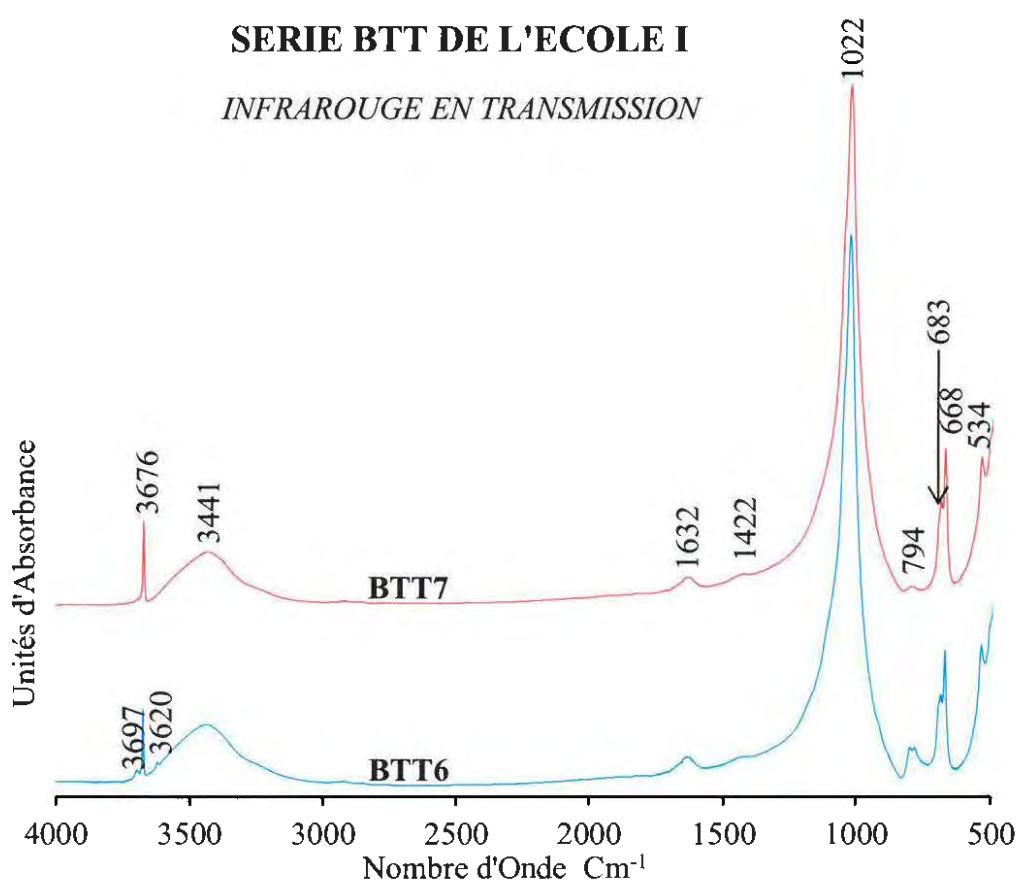


Figure VI.2.5.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

VI.2.5.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

La figure VI.2.5.2.2, montre les spectres infrarouges en réflexion diffuse du matériau talcschiste (BTT6, BTT7) de l'Ecole I. Les bandes sont ici attribuées de la manière suivante :

Les bandes 3698 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} , 3622 cm^{-1} et 3653 cm^{-1} sont des élongations des OH structuraux ; le bande à 3435 cm^{-1} (élongation des OH de l'eau moléculaire) ; 1639 cm^{-1} (déformation de HOH) ; 1400 cm^{-1} (trace de carbonates) ; 1000 cm^{-1} (élongations de SiO) ; 798 cm^{-1} , 783 cm^{-1} et 682 cm^{-1} (déformation de SiO) ; 668 cm^{-1} (déformation de OH).

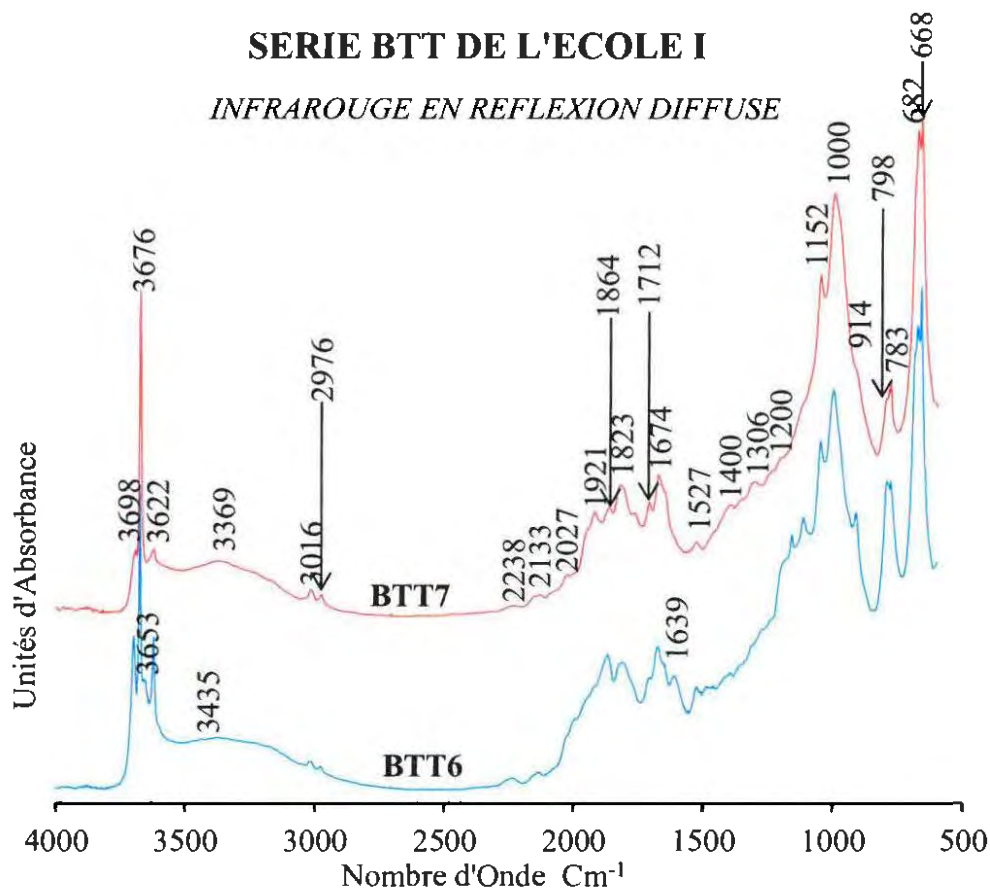


Figure VI.2.5.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de l'Ecole I quartier Minzanzala (BTT6, BTT7)

VI.2.5.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT6, BTT7) de la fraction grossière et fraction fine de l'Ecole I quartier Minzanzala sur roche totale

Les textures (A, B, C et E) de la [figure VI.2.5.3](#) sont micro lamellaires et fragiles. La plage (D) présente un cristal de rutile de forme hexagonale.

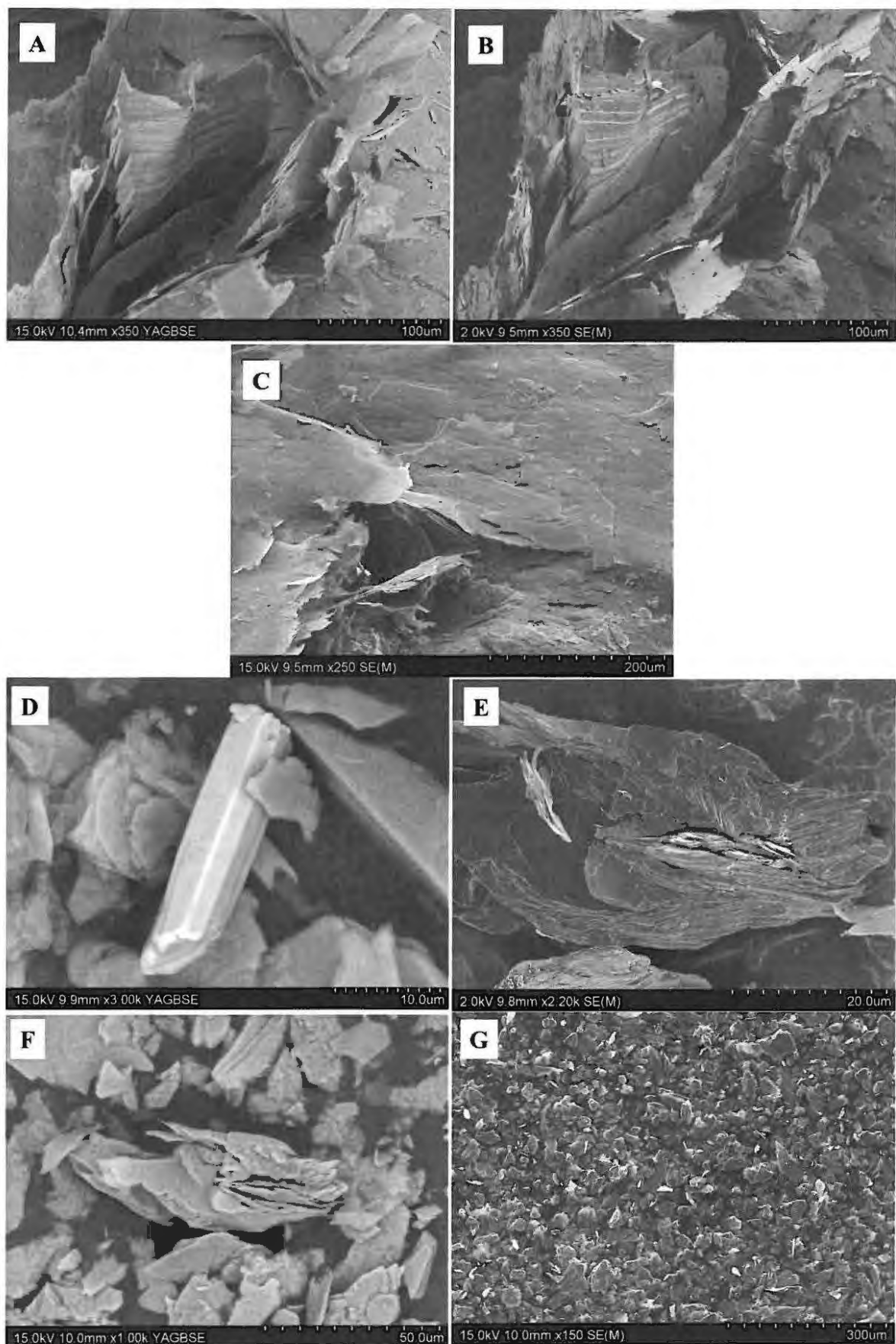


Figure VI.2.5.3 : Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT 6 et BTT7) de la fraction grossière (A ; B ; C) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de l'Ecole I quartier Minzanzala sur roche totale

VI.2.5.4. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minzanzala

Le calcul des teneurs massiques dans les matériaux minéraux de l'Ecole I (BTT6, BTT7) renseignent sur les volumes occupés par les phases minérales dans les matériaux (Tableau VI.2.4.4). Les teneurs massiques moyennes des minéraux caractéristiques des matériaux (BTT6 et BTT7) sont : talc 75,7 % ; quartz 18,67 % ; chlorite 1,9 % ; kaolinite 0,8 %. Les matériaux minéraux non identifiés qualifiés d'autres ont une teneur moyenne de 1,1 %.

Tableau VI.2.5.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Minzanzala

Localité	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
Ecole I	BTT6	Quartz	SiO ₂	29,30	99,44
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	66,16	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,98	
		Chlorite.	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	2,99	
		Autres			
	BTT7	Quartz	SiO ₂	7,92	98,43
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	89,15	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,62	
		Chlorite.	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	0,74	
		Autres			
					1,57

Les proportions des oxydes des phases monominérales (talc, quartz, chlorite et kaolinite) caractéristiques du talcschiste des matériaux (BTT6 et BTT7) de l'Ecole I à Minzanzala dans Tchibanga sont :

BTT6 :

Talc: MgO = 28,91 %; SiO₂ = 57,46 % ;

Quartz: SiO₂ = 0,69 % ;

Chlorite: MgO = 1,62 %; Al₂O₃ = 1,58 %; SiO₂ = 2,07 %;

Kaolinite: Al₂O₃ = 0,70 %; SiO₂ = 0,83 %

BTT7 :

Talc: MgO = 30,50 %; SiO₂ = 60,62 % ;

Quartz: SiO₂ = 1,34 % ;

Chlorite: MgO = 0,67 %; Al₂O₃ = 0,28 %; SiO₂ = 0,66 %;

Kaolinite: Al₂O₃ = 0,33 %; SiO₂ = 0,24 % .

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales talcschistes calculées contextualisées dans les matériaux talc (BTT6 et BTT7) de l'Ecole I quartier Minzanzala:

BTT6 :

Talc: $MgO = 20,64 \%$; $SiO_2 = 68,32 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 0,82 \%$;

Chlorite: $MgO = 1,16 \%$; $Al_2O_3 = 0,43 \%$; $SiO_2 = 2,45 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,34 \%$; $SiO_2 = 0,99 \%$

BTT7 :

Talc: $MgO = 28,03 \%$; $SiO_2 = 62,47 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 1,38 \%$;

Chlorite: $MgO = 0,62 \%$; $Al_2O_3 = 0,16 \%$; $SiO_2 = 0,68 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,33 \%$; $SiO_2 = 0,24 \%$

VI.2.6. Talc de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)

A Dougandou et Louango un affleurement de poche de talc pur avec de trace talc brun a été identifié (Figure VI.1.1.4). En analyse fine, il se trouve que les matériaux de Dougandou et Louango sont composés de talc, quartz, chlorite et kaolinite dans l'ensemble.

VI.2.6.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT 8 et BTT 9)

Le diffractogramme des matériaux de Dougandou et Louango, révèle des phases minéralogiques à talc, quartz, chlorite et kaolinite. Les valeurs des pics de diffraction les caractérisant sont dans la figure VI.2.6.1 suivant les intensités respectives.

Talc : $9,31 \text{ \AA}$; $3,12 \text{ \AA}$; $4,66 \text{ \AA}$; $1,87 \text{ \AA}$; $1,82 \text{ \AA}$; $2,28 \text{ \AA}$; $2,23 \text{ \AA}$; $1,98 \text{ \AA}$

Quartz : $3,34 \text{ \AA}$; $4,25 \text{ \AA}$; $1,82 \text{ \AA}$; $2,45 \text{ \AA}$; $2,13 \text{ \AA}$; $2,33 \text{ \AA}$; $2,28 \text{ \AA}$; $2,23 \text{ \AA}$; $1,98 \text{ \AA}$;

Chlorite : $12,95 \text{ \AA}$;

Kaolinite : $7,16 \text{ \AA}$; $3,58 \text{ \AA}$; $2,33 \text{ \AA}$.

SERIE BTT DE DOUGANDOU ET LOUANGO

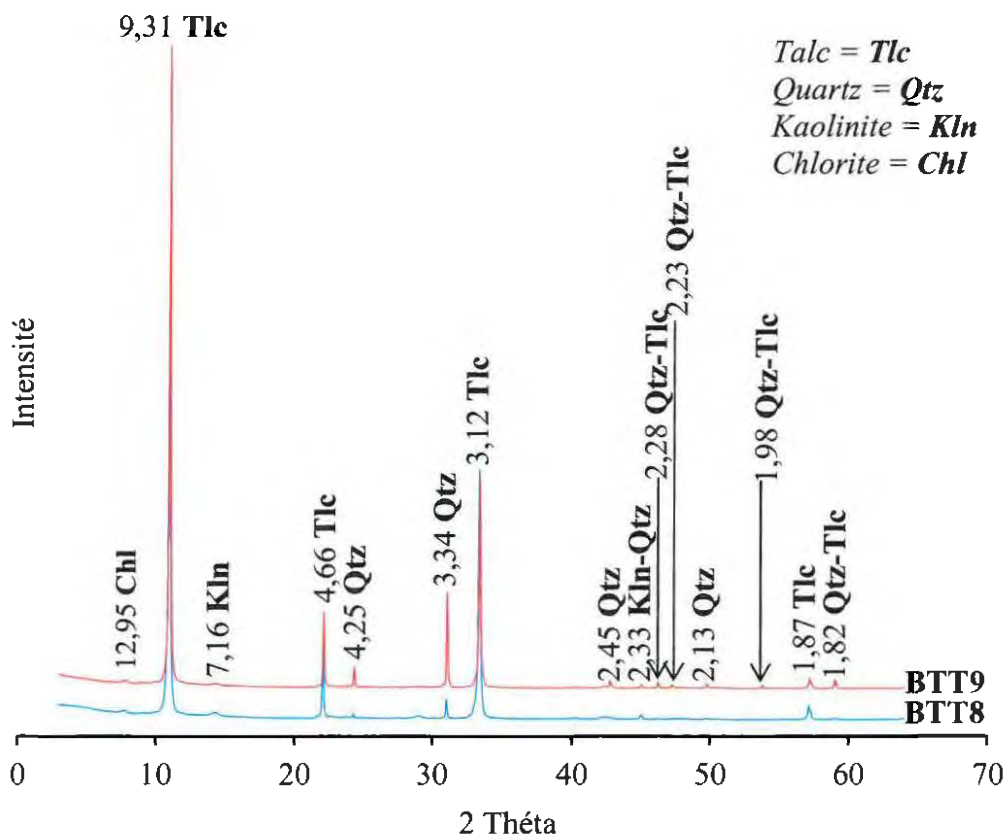


Figure VI.2.6.1: Diffractogrammes-X sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT 8 et BTT9)

VI.2.6.2. Spectrométrie infrarouge à Transformé de Fourier sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)

VI.2.6.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)

Les spectres Infrarouges en Transmission des matériaux de talcschiste de Dougandou et Louango sont portés en (Figure VI.2.6.2.1). Les attributions de bandes sont les suivantes : 3698 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} , 3650 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} pour les élongations des OH ; la bande large centrée sur 3441 cm^{-1} correspond à l'élongation du proton dans l'eau moléculaire et l'amorce de petite bande résolue correspond à l'élongation d'un proton structural de la gibbsite.; 1637 cm^{-1} bande d'hydratation et de déformation des HOH ; 1426 cm^{-1} , caractéristique de traces des carbonates ; 1021 cm^{-1} correspond à l'élongation des SiO ; 795 cm^{-1} , 783 cm^{-1} et 684 cm^{-1} bandes correspondant aux déformations des SiO ; 669 cm^{-1} c'est la déformation de OH ; 535 cm^{-1} c'est la bande qui correspond à l'élongation de MgO.

SERIE BTT DE DOUGANDOU ET LOUANGO

INFRAROUGE EN TRANSMISSION

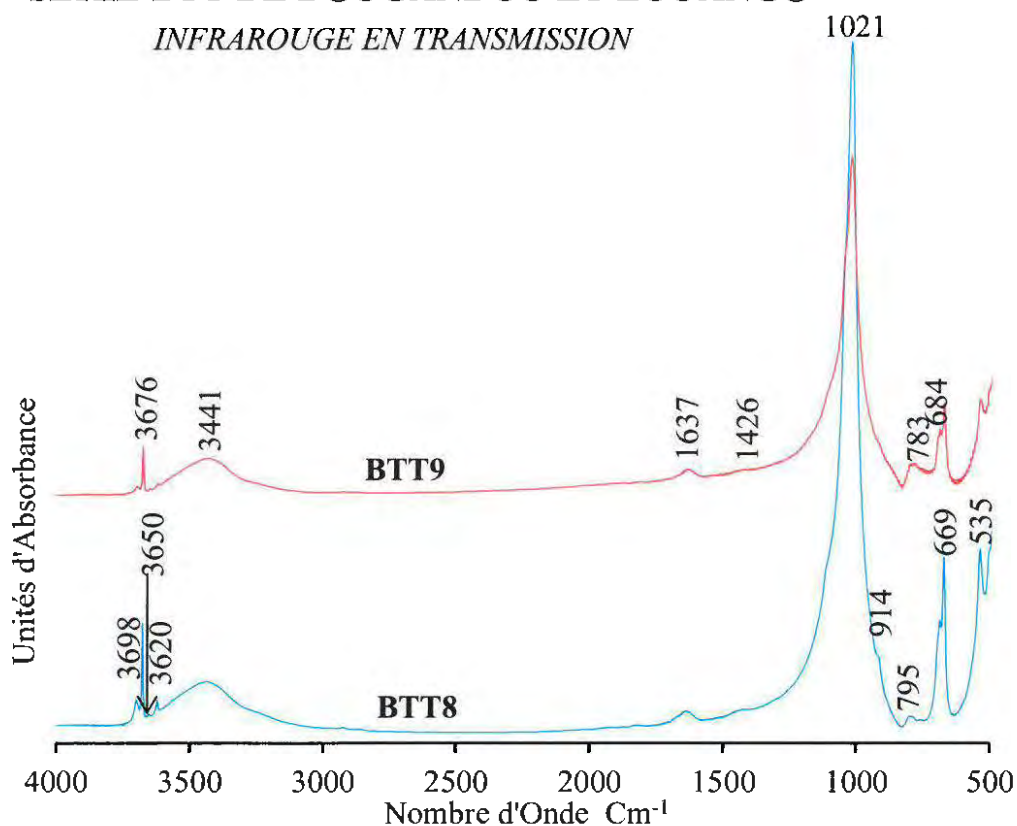


Figure VI.2.6.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)

VI.2.6.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réflexion Diffuse sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)

Les spectres infrarouges en réflexion diffuse sur roche totale de Dougandou et Louango des matériaux BTT8 et BTT9 sont portés en [figure VI.2.6.2.2](#). Les attributions des bandes infrarouges sont : 3698 cm^{-1} , 3676 cm^{-1} , 3656 cm^{-1} et 3620 cm^{-1} sont caractéristique des élongations OH ; 3226 cm^{-1} , 3018 cm^{-1} et 2977 cm^{-1} correspondent à l'hydratation et l'élongation de OH ; 1678 cm^{-1} , 1611 cm^{-1} est la bande correspondant à l'hydratation et la déformation de HOH ; 1490 cm^{-1} traces des carbonates ; 1051 cm^{-1} et 1003 cm^{-1} sont caractéristiques des élongations des SiO ; 791 cm^{-1} et 682 cm^{-1} sont des bandes des déformations des SiO ; 667 cm^{-1} c'est la bande correspondant à la déformation de OH.

SERIE BTT DE DOUGANDOU ET LOUANGO
INFRAROUGE EN REFLEXION DIFFUSE

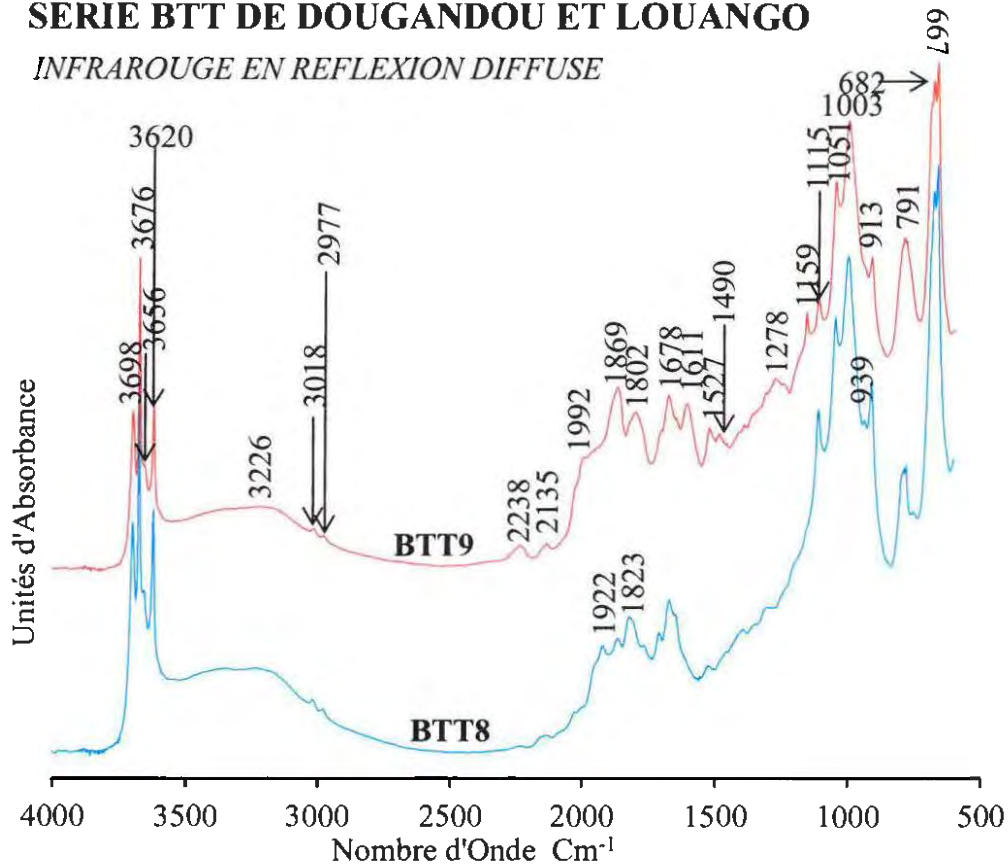


Figure VI.2.6.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Dougandou et Louango (BTT8 ; BTT9)

VI.2.6.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT8 et BTT9) de la fraction grossière et fraction fine de Dougandou et Louango sur roche totale

La morphologie de talcschiste de Dougandou et Louango, dans les matériaux minéraux de BTT8 et BTT9 présente des textures micro lamellaires craquelées à fibrillaires désordonnées (Figure VI.2.6.3).

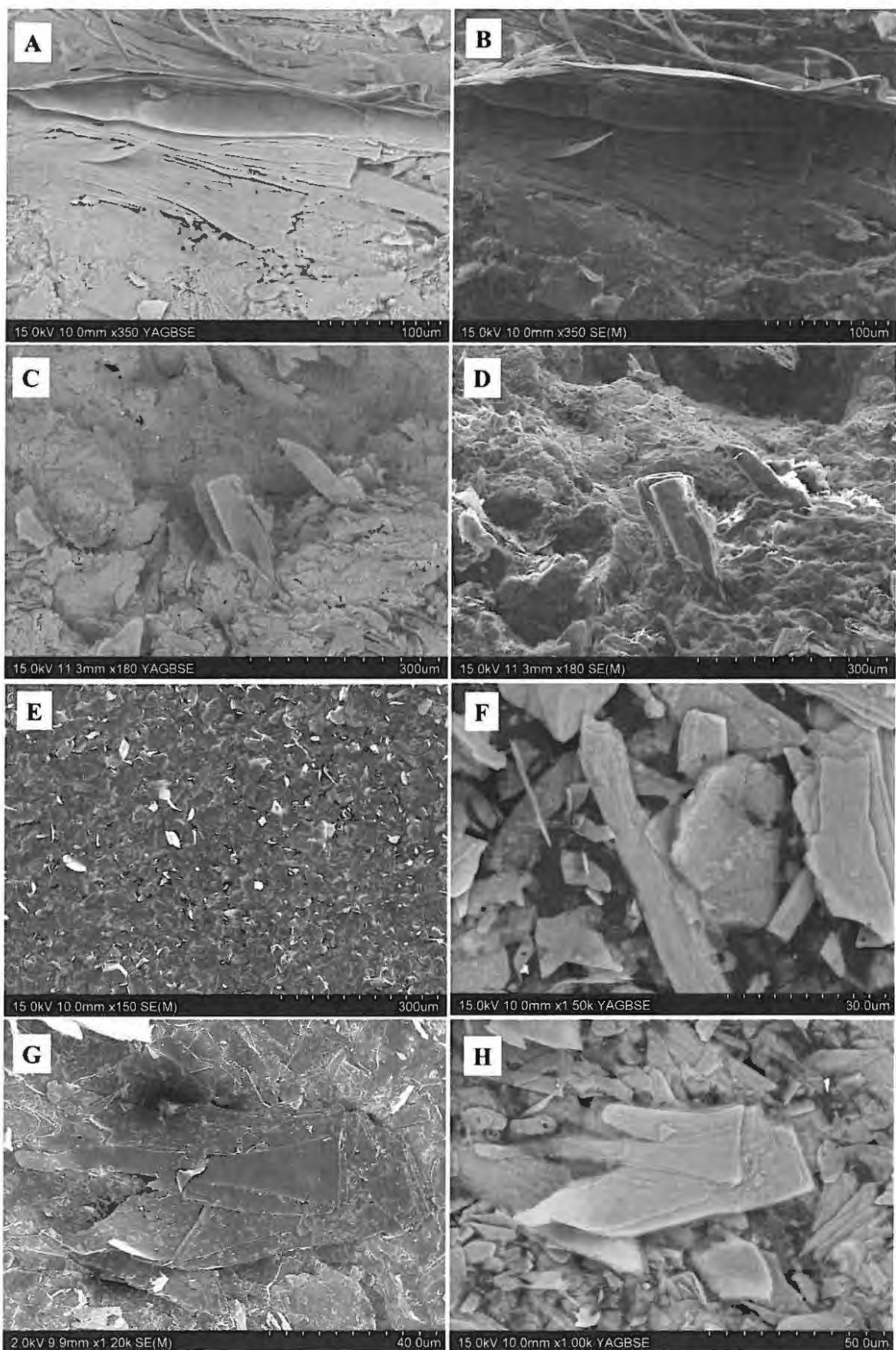


Figure VI.2.6.3: Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT : 2 ; 3 ; 4 et 5) sur fraction grossière (A ; B ; C ; D) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de Dougandou et Louango sur roche totale

VI.2.6.4. Teneurs massiques des minéraux dans les différents matériaux de la série PK14

Les valeurs des teneurs massiques des matériaux minéraux BTT8 et BTT9 de Dougandou et Louango montrent des pourcentages moyens de talc 58,0 % ; quartz 30,8 % ; chlorite 8,20 % et kaolinite 1,1 %. Les minéraux non identifiés qualifiés de traces sont regroupés dans un ensemble appelé “autres” avec un pourcentage global moyen de 1,9 %. Au regard de ces résultats, nous constatons que les minéraux essentiels pour ces matériaux sont le talc, le quartz et le chlorite, accessoirement la kaolinite et traces (Tableau VI.2.6.4).

Tableau VI.2.6.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Dougandou / Louango

Localité	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
Dougandou Louango	BTT8	Quartz	SiO ₂	10,1543	99,28
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	78,4473	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	0,7304	
		Chlorite	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	9,9462	
		Autres			0,72
	BTT9	Quartz	SiO ₂	51,4064	97,00
		Talc	Mg ₃ (OH) ₂ Si ₄ O ₁₀	37,6216	
		Kaolinite	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	1,5445	
		Chlorite.	Mg ₅ Al ₂ Si ₃ O ₁₀ (OH) ₈	6,4300	
		Autres			3,00

Les proportions massiques des oxydes de deux phases monominérales (talc, quartz, chlorite et kaolinite) caractéristiques du schisto-gréseux des matériaux minéraux (BTT8 et BTT9) de Dougandou/Louangou sont calculées à partir des modèles développés au chapitre III dans sa partie III.4 de ce mémoire de thèse.

BTT8 :

Talc: MgO = 26,02 %; SiO₂ = 51,76 % ;

Quartz: SiO₂ = 1,67 % ;

Chlorite: MgO = 4,77 %; Al₂O₃ = 2,13 %; SiO₂ = 5,03 %;

Kaolinite: Al₂O₃ = 0,27 %; SiO₂ = 0,32 %

BTT9 :

Talc: MgO = 20,55 %; SiO₂ = 40,84 % ;

Quartz: SiO₂ = 13,59 % ;

Chlorite: MgO = 4,94 %; Al₂O₃ = 2,50 %; SiO₂ = 5,89 %;

Kaolinite: Al₂O₃ = 1,14 %; SiO₂ = 1,35 %

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales talcschistes calculées contextualisées dans les matériaux talc (BTT8 et BTT9) de Dougandou/Louangou:

BTT8 :

Talc: $MgO = 23,64 \%$; $SiO_2 = 55,76 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 1,80 \%$;

Chlorite: $MgO = 4,33 \%$; $Al_2O_3 = 1,43 \%$; $SiO_2 = 5,42 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,18 \%$; $SiO_2 = 0,34 \%$

BTT9 :

Talc: $MgO = 11,01 \%$; $SiO_2 = 54,32 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 18,08 \%$;

Chlorite: $MgO = 2,65 \%$; $Al_2O_3 = 0,42 \%$; $SiO_2 = 7,83 \%$;

Kaolinite: $Al_2O_3 = 0,19 \%$; $SiO_2 = 1,78 \%$

VI.2.7. Talc de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

Les matériaux de Mourindi (BTT11 et BTT12) sont des talcschistes à talc primaire et poudreux (Figure VI.1.1.5 et Figure VI.1.1.6). Les analyses fines révèlent talc, quartz, chlorite, dolomite et calcite.

VI.2.7.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale des prélèvements de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

La diffraction-X sur roche totale de matériaux (BTT11 et BTT12) de Mourindi, donne les phases minérales talc, quartz, chlorite, dolomite et calcite. Leurs identifications reposent sur les équidistances réticulaires et des intensités correspondantes (Figures VI.2.7.1.1 et VI.2.7.1.2).

VI.2.7.1.1. Diffraction des Rayons X sur roche totale de Mourindi (BTT11)

Le diffractogramme-X des matériaux de Mourindi (BTT11) révèle talc, quartz, chlorite, dolomite et calcite (Figure VI.2.7.1.1), dont l'identification repose sur les jeux suivants d'équidistances :

Talc : $9,39 \text{ \AA}$; $3,12 \text{ \AA}$; $4,69 \text{ \AA}$; $1,87 \text{ \AA}$; $1,80 \text{ \AA}$; $2,34 \text{ \AA}$; $2,06 \text{ \AA}$; $1,85 \text{ \AA}$;

Quartz : $3,34 \text{ \AA}$; $1,80 \text{ \AA}$;

Chlorite : $13,05 \text{ \AA}$; $2,60 \text{ \AA}$; Dolomite : $2,89 \text{ \AA}$; $2,19 \text{ \AA}$; $2,01 \text{ \AA}$; $1,80 \text{ \AA}$; $2,67 \text{ \AA}$; $2,40 \text{ \AA}$; $2,54 \text{ \AA}$; $3,70 \text{ \AA}$; $4,04 \text{ \AA}$;

Calcite : $3,03 \text{ \AA}$; $1,85 \text{ \AA}$; $1,80 \text{ \AA}$.

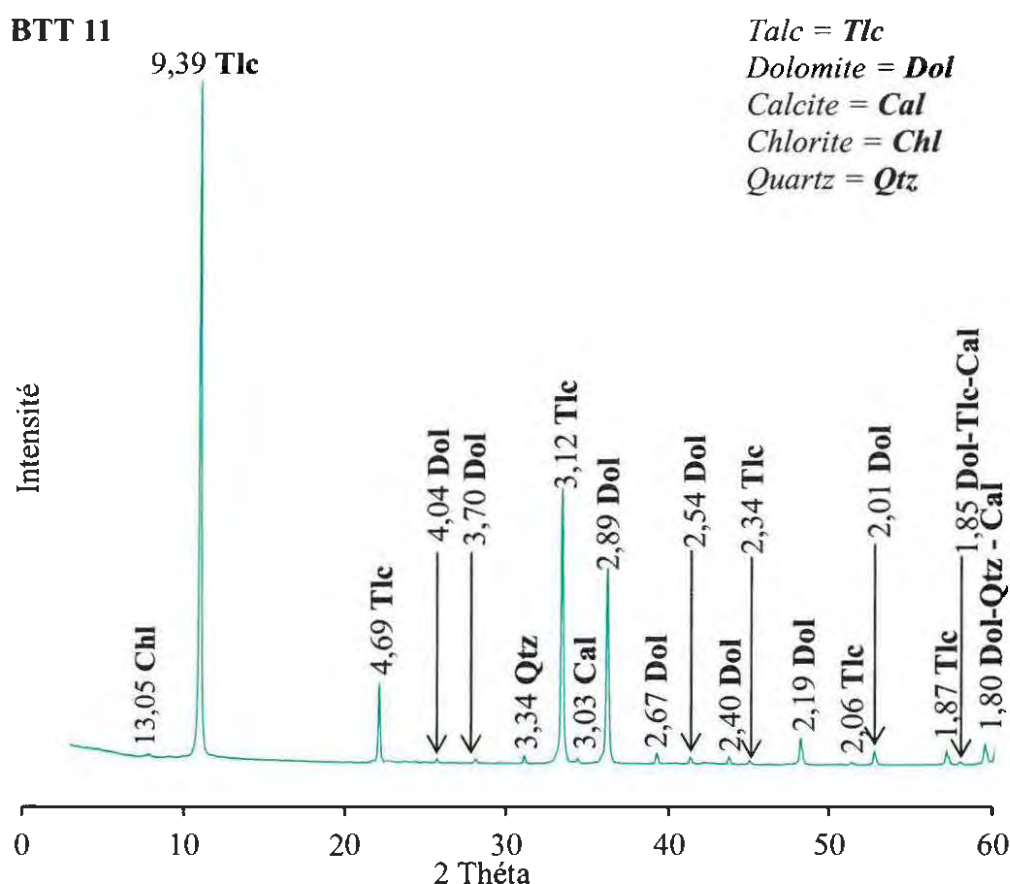


Figure VI.2.7.1.1: Diffractogramme-X sur roche totale de Mourindi (BTT11)

VI.2.7.1.2. Diffraction-X sur roche totale de Mourindi (BTT12)

Sur le diffractogramme-X des matériaux minéraux de Mourindi (BTT12) [figure VI.2.7.1.2](#), les minéraux majeurs talc, quartz, dolomite et chlorite sont identifiés comme suit :

Talc : 9,35 Å ; 3,12 Å ; 4,67 Å ; 4,56 Å ; 1,87 Å ; 1,80 Å ; 4,35 Å ; 2,59 Å ; 2,48 Å ; 2,34 Å ; 2,06 Å ;

Quartz : 3,34 Å ; 1,80 Å ;

Dolomite : 2,88 Å ; 2,19 Å ; 2,02 Å ; 1,80 Å ; 4,03 Å ; 3,69 Å ; 2,67 Å ; 2,40 Å ; 2,54 Å ; 3,69 Å ; 4,03 Å ;

Calcite : 1,85 Å ; 1,80 Å.

A Mourindi, les talcschistes de BTT12 ne montrent pas la réflexion majeure de la calcite contrairement au matériau BTT11 où on la détecte à 3,03 Å.

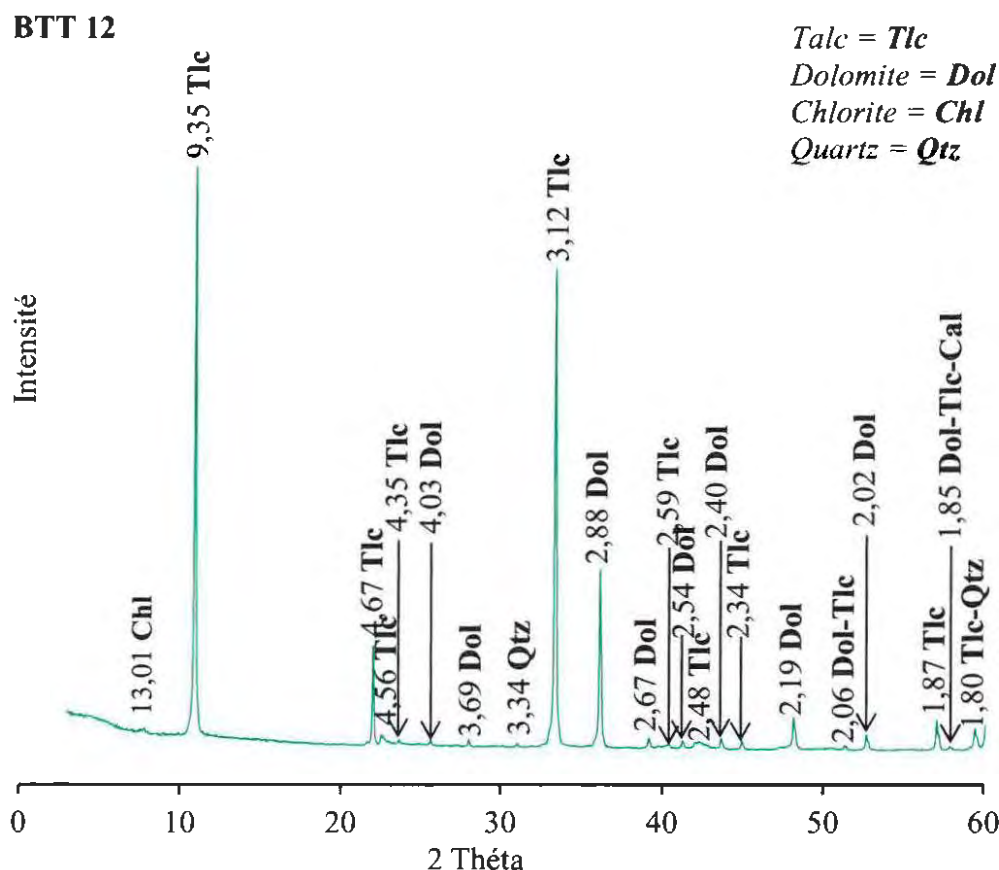


Figure VI.2.7.1.2 : Diffractogramme-X sur roche totale de Mourindi (BTT12)

VI.2.7.2. Spectrométrie infrarouge à Transmission de Fourier sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

VI.2.7.2.1. Spectrométrie infrarouge en Transmission sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

Les spectres Infrarouge en Transmission des matériaux de talcschiste de Mourindi sont portés en [Figure VI.2.7.2.1](#). Les attributions de bandes sont :

3676 cm^{-1} , élongations des OH ;

1615 cm^{-1} , hydratation et de déformation des HOH, pouvant nous faire penser à une contribution Si-O, le signal des carbonates est vers 1430 cm^{-1} ou un peu au-delà.

1439 cm^{-1} , traces des carbonates ;

1022 cm^{-1} , élongation des SiO ;

881 cm^{-1} , 729 cm^{-1} et 683 cm^{-1} , déformations des SiO ;

669 cm^{-1} , déformation de OH ;

534 cm^{-1} , l'élongation de MgO.

SERIE BTT DE MOURINDI
INFRAROUGE EN TRANSMISSION

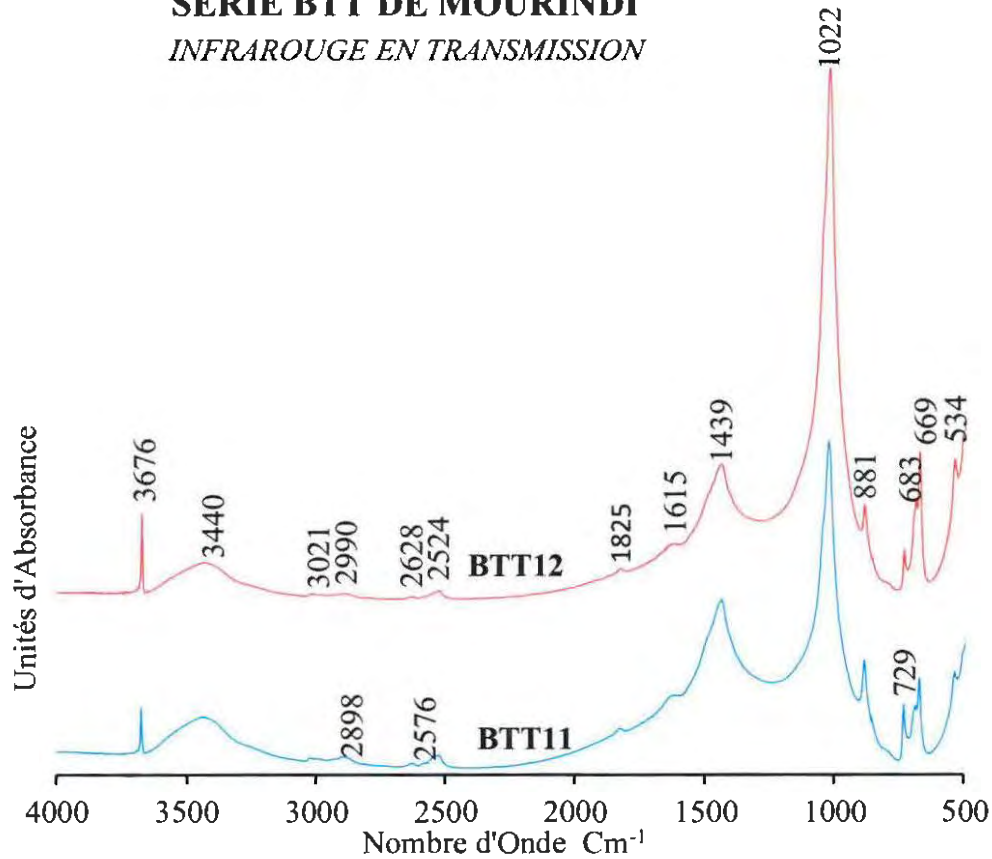


Figure VI.2.7.2.1 : Spectres infrarouge en Transmission sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

VI.2.7.2.2. Spectrométrie infrarouge en Réflexion Diffuse sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

La spectroscopie infrarouge en réflexion diffuse sur roche totale des matériaux de Mourindi (BTT11 et BTT12) [figure VI.2.7.2.2](#), montre des liaisons OH, HOH et SiO. Les attributions des bandes sont :

- 3676 cm^{-1} , 3614 cm^{-1} , l'élongation OH probablement du talc ;
- 1673 cm^{-1} , 1603 cm^{-1} , hydratation et la déformation de HOH ;
- 1460 cm^{-1} , 1411 cm^{-1} , traces des carbonates ;
- 1049 cm^{-1} et 1003 cm^{-1} , élongations des SiO ;
- 882 cm^{-1} , 853 cm^{-1} , 783 cm^{-1} et 728 cm^{-1} , déformations des SiO ;
- 681 cm^{-1} et 667 cm^{-1} , déformation de OH.

SERIE BTT DE MOURINDI

INFRAROUGE EN REFLEXION DIFFUSE

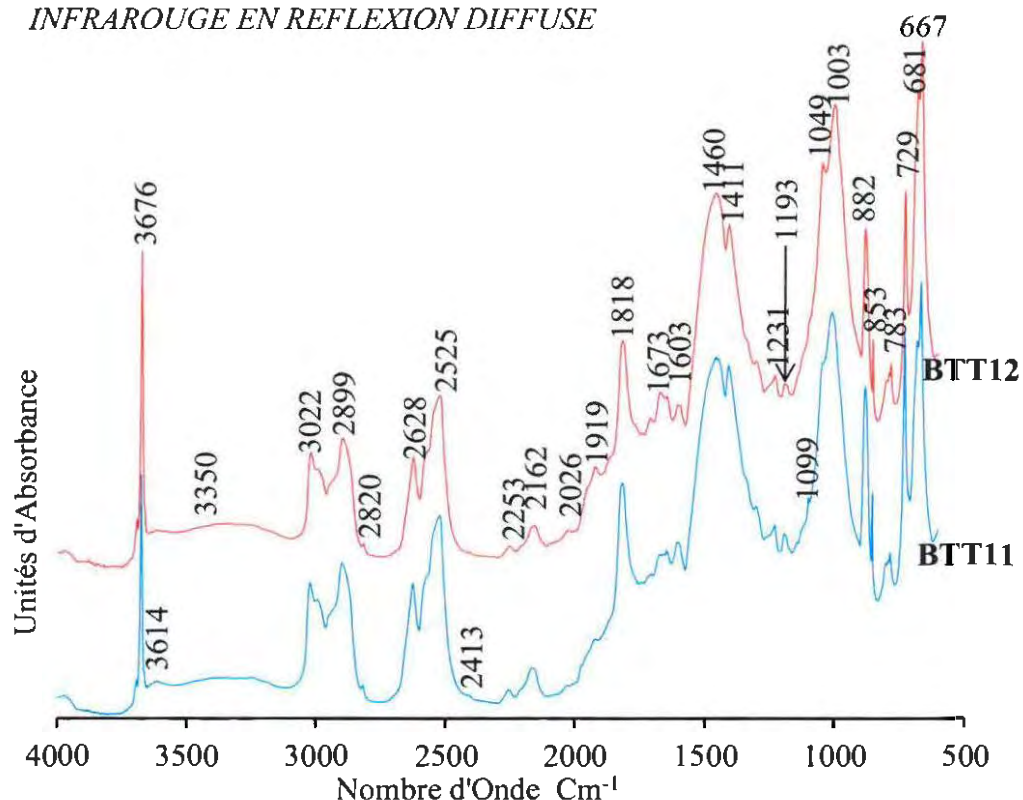


Figure VI.2.7.2.2 : Spectres infrarouge en Réfexion Diffuse sur roche totale de Mourindi (BTT11 ; BTT12)

Le matériau de Mourindi renferme des carbonates des carbonates.

VI.2.7.3. Microscopie Electronique à Balayage et EDS des matériaux (BTT11 et BTT12) des fractions grossière et fine de Mourindi sur roche totale

La texture des matériaux minéraux de Mourindi est lamellaire et le quartz est fragmenté (Figure VI.2.7.3). Cette fragmentation du quartz justifie la texture du système cataclastique montrant des activités tectoniques à faible métamorphisme régional observées sur les Figures VI.1.1.5 et VI.1.1.6.

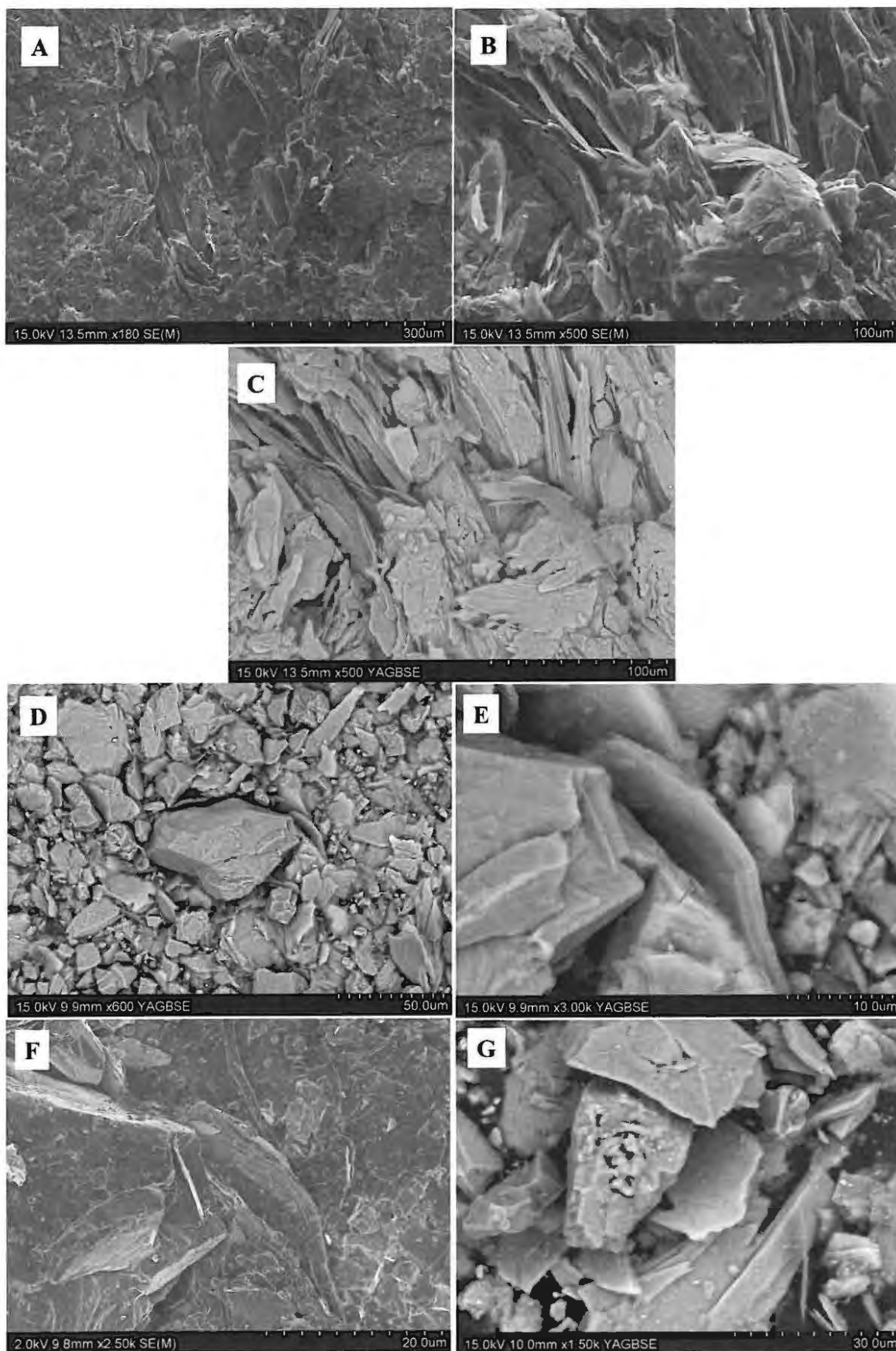


Figure VI.2.7.3: Microscopie Electronique à Balayage et EDX des matériaux (BTT : 2 ; 3 ; 4 et 5) de la fraction grossière (A ; B ; C ; D) et fine de 50 microns (D ; E ; F ; G) de Mourindi de Mourindi sur roche totale

VI.2.7.4. Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Mourindi

Les teneurs massiques évaluées dans les matériaux minéraux de Mourindi sont présentées dans le tableau VI.2.7.4. Les pourcentages moyens de ces teneurs massiques sur les matériaux (BTT11 et BTT12) sont : talc 78,01 % ; quartz 11,50 % ; dolomite 5,84 % ; calcite 3,17 % ; chlorite 0,54 %. Les matériaux minéraux non identifiés qualifiés d'“autres” ont une teneur moyenne de 0,94 %.

Tableau VI.2.7.4 : Teneurs massiques des minéraux dans les matériaux de Mourindi

Localité	Echantillon	Minéral	Formule Chimique	Teneur massique (%)	Total (%)
Mourindi	BTT11	Quartz	SiO_2	13,01	98,75
		Talc	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$	70,68	
		Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	9,48	
		Calcite	CaCO_3	5,148	
		Chlorite.	$\text{Mg}_{(6-x-y)}\text{Fe}_y\text{Al}_x(\text{Si}_{(4-x)}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	0,44	
		Autres			1,25
	BTT12	Quartz	SiO_2	9,99	99,38
		Talc	$\text{Mg}_3(\text{OH})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}$	85,36	
		Dolomite	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2,19	
		Calcite	CaCO_3	1,19	
		Chlorite.	$\text{Mg}_{(6-x-y)}\text{Fe}_y\text{Al}_x(\text{Si}_{(4-x)}\text{Al}_x)\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	0,65	
		Autres			0,62

Les proportions massiques des oxydes de deux phases monominérales (talc, quartz, dolomite, calcite et chlorite) caractéristiques du talcschiste des matériaux minéraux (BTT11 et BTT12) de Mourindi sont calculées à partir des modèles développés au chapitre III dans sa partie III.4 de ce mémoire de thèse.

BTT11 :

Talc: $MgO = 28,17 \%$; $SiO_2 = 55,99 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 2,56 \%$;

Chlorite: $MgO = 0,50 \%$; $Al_2O_3 = 0,25 \%$; $SiO_2 = 0,44 \%$;

Dolomite: $CaO = 1,80 \%$; $MgO = 1,30 \%$; $CO_2 = 2,83 \%$;

Calcite: $CaO = 1,01 \%$; $CO_2 = 0,79 \%$

BTT12 :

Talc: $MgO = 30,37 \%$; $SiO_2 = 60,36 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 1,76 \%$;

Chlorite: $MgO = 0,48 \%$; $Al_2O_3 = 0,24 \%$; $SiO_2 = 0,43 \%$;

Dolomite: $CaO = 0,39 \%$; $MgO = 0,28 \%$; $CO_2 = 0,61 \%$;

Calcite: $CaO = 0,22 \%$; $CO_2 = 0,17 \%$

Les pourcentages en teneurs massiques des oxydes des phases minérales talcschistes calculées contextualisées dans les matériaux minéraux talcschistes (BTT11 et BTT12) de Mourindi:

BTT11 :

Talc: $MgO = 21,33 \%$; $SiO_2 = 18,60 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 0,85 \%$;

Chlorite: $MgO = 0,38 \%$; $Al_2O_3 = 0,04 \%$; $SiO_2 = 0,15 \%$;

Dolomite: $CaO = 14,12 \%$; $MgO = 0,98 \%$;

Calcite: $CaO = 7,93 \%$

BTT12 :

Talc: $MgO = 26,79 \%$; $SiO_2 = 35,50 \%$;

Quartz: $SiO_2 = 1,04 \%$;

Chlorite: $MgO = 0,42 \%$; $Al_2O_3 = 0,06 \%$; $SiO_2 = 0,25 \%$;

Dolomite: $CaO = 7,96 \%$; $MgO = 0,25 \%$

Calcite: $CaO = 4,49 \%$

Conclusion

Les talcschistes de Tchibanga et ses environs peuvent être utilisés comme fondants (oxyde MgO) en céramique dans la fabrication de verres pour abaisser la température de fusion et augmenter la résistance aux agents chimiques (Dequatremare et Devers, 2012). Le MgO inhibe la croissance des grains lorsqu'une microstructure à grains fins est souhaitée. Les talcschistes de Tchibanga peuvent également être utilisés comme matières premières pour fabriquer des réfractaires car ils entrent dans les systèmes basiques de magnésie frittée

terrestre avec MgO (70-97), CaO (2-20), SiO₂ (inférieure à 20) ; ou Forstérite MgO (39-44) et SiO₂ (41-50) comme l'ont mentionné [Fantozzi *et al.*, \(2013\)](#).

Conclusion Générale et Perspectives

Tout compte fait, les solutions qui emmèneraient les populations à faire usage des argiles, exigent et sollicitent la prise en compte de deux groupes de population. Les jeunes scolarisés, à qui l'apprentissage des connaissances théoriques et pratiques des usages des argiles et des produits dérivés se fera par le biais des Universités et grandes Ecoles. Les jeunes non scolarisés et les adultes, qui pour leur part sera question de mettre en branle tous les outils traditionnels et modernes de communication, pour les inculquer les savoirs et savoir-faire en relation avec les argiles. Puis dans un autre contexte, promouvoir la recherche des nouvelles pistes économiques qui tiennent compte des résultats de la recherche scientifique et des normes internationales dans un environnement politico-administratif dénué des velléités. Ce qui découragerait les acteurs qui veulent se lancer dans un secteur encore à l'état embryonnaire mais ayant un potentiel de développement dont la réelle vulgarisation nécessite également une fiscalité fort bien adaptée aux objectifs de la mondialisation sur la biodiversité. Il est essentiel de poursuivre les points non élucidés sujets à l'élaboration des produits cuits afin de répondre de manière efficace et efficiente aux sollicitations des gabonais et gabonaises en matière de construction en offrant des bons matériaux minéraux argileux accessibles. Les températures de test de cuisson choisies à 1100°C pour ce travail entre dans la caractérisation des produits qui seraient plus aptes aux produits réfractaires. Le talc est ici mis en branle pour la valorisation de gisement longtemps connu mais encore non exploité. Avec la réalisation du pont minéralier sur la Banio et le port en eau profonde dans le département de Mayumba de la province de la Nyanga (Tchibanga), pouvant acheminer le produit à talc par voie maritime vers l'extérieur du Gabon, une banque des données nouvelles est mise à la disposition des industriels qui souhaiteraient investir au Gabon dans le cas des substances utiles du Gisement de talc de Tchibanga qui a une teneur moyenne recalculée pour la seule poche de Mourindi à plus de 85 %.

Bibliographie

- Aprahamian J. (1974).** - La cristallinité de l'illite et les minéraux argileux en bordure des massifs cristallins externes de Belledonne et du Pelvoux (Variations et relations possibles avec des événements tectoniques et métamorphiques alpins). *Géologie Alpine*, t. 5Q, 545.
- Arnould A. (1966).** - Synthèse Pb socle-crétacé Gabon. Rapport BRGM LIB 66 A2.
- Baize D., Jabiol B. (1995).** - Guide pour la description des sols. Coll. Techniques et pratiques, INRA, édition, Paris, 286-287.
- Balavoine L., Cristancho R., Barrès O., Bouquet E., Pelletier M., Lhote F., Yvon J. (2000).** - Analyse typologique de matières de tuileries : relation avec les propriétés d'usage. Compte rendu final des travaux de la convention INPL-IMETAL 904/45011/4706. 80 pp., 106 fig., 22 tab., 11 annexes en 3 volumes.
- Balavoine L. (2002).** - Analyse typologique de matières premières de tuilerie Prévision des propriétés. Thèse de Géosciences-Matières Premières. INPL Nancy. 279pp.
- Balavoine L., Yvon J., Cristancho R. (2003a).** - Typological analysis of raw materials for roofing tiles. *Advance in Science & Technology. Science for new technology of silicate ceramics*. **34**, 135-142.
- Balavoine L., Cristancho R. et J. Yvon J. (2003b).** - Managing the colour and appearance of Terra-cotta products. Maîtrise de la couleur et de l'aspect des produits en terre cuite (bilingue). *L'Industrie Céramique et Verrière*. **986**, 16-27.
- Bardon C. (1983).** - Recommandations pour la détermination expérimentale de la capacité d'échange de cations des milieux argileux. *Revue de l'IFP*, **38**, 621-626.
- Bassot J.P., Caen-Vachette M., Vialette Y., Vidal P. (1987).** - Géochronologie du socle gabonais. Rapport final inédit, dactylographié, Département Géol., Minér., Univ. Clermont-Ferrand II, 228pp. 69 fig.
- Beaux J-F, P. Bernard, Fogelgesang J-F. (2012).** - Atlas de Pétrologie. Paris. Dunod, ISBN 978 - 2 - 10 - 057576 - 3, p27.
- Bellivier F. (1977).** - Prospection talc dans la région de Ndendé. Rapport BRGM 77 LIB 008.
- Berner E.K., Berner R.A. (1987).** - The global water cycle. *Geochemistry and environment*. Printice-Hall, Inc., USA, 397pp.
- Bigotte G., Bonifas M., Millot G. (1957).** - Présence du talc dans les roches sédimentaires infra-cambriennes du bassin du Niari. *Bull. Serv. Cart. géol. Als. Lorr.*, **10** (2), 3-6.
- Bogahawatta V.T.L., Poole A.B. (1991).** - Strength-porosity-mullite content relationship for kaolinitic clay bodies containing lime additive. *Br Ceram Trans J.*, **90**, 184-189.
- Bose J.M., Delpont R., Ekoua Sima J.P., Genn A., Ngangamoukoulou D., Leistel J.M., Monthel J., Ongangui L., Ralay F., Vadala P. (2001).** - Développement et mise en valeur des ressources naturelles de la province de la Nyanga (Gabon) – Programme de promotion des ressources minérales du synclinal de la Nyanga. BRGM/RC-50887-FR, 181p., 31 fig., 21 tabl., 3 ann. CD – Rom, 5 cartes h.-t.
- Bouchet A., Meunier A. & Sardini P. (2000).** - Minéraux argileux. Structures cristallines. Identification par diffraction de rayons X. Mémoire 23. TotalFinaElf, 136pp.

- Boulingui J.E., Nkoumbou C., Njoya D., Thomas F., Yvon J. (2015).** – Characterization of clays from Mezafé and Mengono (Ne-Libreville, Gabon) for potential uses in fired products. *Applied Clays Science*, **115**, 132-144.
- Boutin P. (1979).** – Synthèse des travaux à la fin de la campagne 1979 (Nyanga, Gabon). Rapport BRGM 80 LIB 004.
- Boutin P. (1985).** – Talc du synclinal de la Nyanga (Gabon). Synthèses des travaux fin 1984. Rapport BRGM 85 LIB 003.
- Boutin P., Récoché G., Perrin J., Spencer C., Bouchot V., avec la collaboration de Angel J.-M., Bosc R., Delpont G., Ekoua Sima J.P., Genna A., Ngangamoukoulou D., Leistel J.M., Monthel J., Ongangui L., Ralay F., Vadala P. (2001).** – Développement et mise en valeur des ressources naturelles de la province de la Nyanga (Gabon) – Programme de promotion des ressources minérales du synclinal de la Nyanga. BRGM/RC – 50887- FR, 181 p., 31 fig., 21 tab., 3 ann. CD – Rom, 5 cartes h.-t.
- Brady K.U., Weil R.R. (2008).** – The nature and Properties of Soils. Prentice Hall Ed., Upper Saddle River.
- Brindley G. W. (1951).** - X - ray identification and crystal structures of clays minerals. Miner. Soc. Great Britain, Monograph, London, 345pp.
- Brindley G.W., Brown G. (1980).** - Crystal structures of clay minerals and their X-ray identification; Mineralogical society Monograph n°5, 495pp.
- Brown G., Brindley G.W. (1980).** - X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brindley, G.W., Brown, G. Eds., *Crystal Structures of clay minerals and Their X-ray Identification*. Mineral. Soc. Monogr., London, 5, 305-359.
- Brown G., Norrish K. (1952).** - Hydrous micas. *Min. Mag.*, **29**, 929-932.
- Brown G., Brindley G.W. (1980).** - X-ray diffraction procedures for clay mineral identification. In: Brindley, G.W., Brown, G. Eds., *Crystal Structures of clay minerals and Their X-ray Identification*. Mineral. Soc. Monogr., London, 5, 305-359.
- Brunauer S., Emmett P.H., Teller E. (1938).** Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of American Chemical Society*, **60**, 309-319.
- Cahen L., Snelling N.J., Delhal J. et Vail, J.R. (1984).** - The geochronology and evolution of Africa. Clarendon Press, Oxford, 512 pp.
- Caillière S., Hénin S., Rautureau M. (1982).** - Minéralogie des argiles. 1. Structures et propriétés physico-Chimiques. Masson. 184 p.
- Campy M., Macaire J.J., Grosbois C., (2013)** - Géologie de la surface. Erosion, transfert et stockage dans les environnements continentaux. Dunod, Paris, 3^e Edition. ISBN 978-2-10-057649-4. 277-278.
- Carniglia S.C., Barna G.L. (1992).** - Handbook of Industrial Refractories Technology : Principles, types, properties and applications, Noyes Publications, 501pp.
- Cases J.M., Liétard O., Yvon J., Delon J.F. (1982).** - Etude des propriétés cristallographiques, morphologiques et superficielles de kaolinites désordonnées. *Bulletin de minéralogie*, **105**, (5), 439-457.
- Chamley H. et Deconinck J-F. (2011).** - Bases de sédimentologie. Paris. Dunod. ISBN 978-2-10-054549-0, 213pp.

- Champreux F. (1992).** - Les argiles industrielles. Cours de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, 160pp.
- Chevallier L., Makanga J.F., Thomas R.J. (2002).** - Notice explicative de la carte géologique de la République Gabonaise à 1/1 000 000. Editions DGMG Gabon, 195pp.
- Correns C.W. (1937).** - Scientific Results of the German Atlantic Expedition on the exploration ship "Meteor", Deutsche Atl. Exp. Meteor. 1925-1927.
- Damour A.A., Salvétat D. (1847).** - Notice et analyses sur un hydrosilicate trouvé à montmorillon (Vienne). Ann. Chim. Phys., **3**, (21), 376-383.
- Debras-Guedon J., Voinovitch I.A., Louvrier J. (1962).** - L'analyse des silicates" Paris. Hermann, 514.
- Deconinck J.F. (2006).** - Argiles, témoins des climats. Découverte, **339**, 29-41.
- Delineau T. (1994).** - Les argiles du bassin de Charentes (France) : Analyses typologique, cristallographique, spéciation du fer et applications, Thèse INPL, 597pp.
- Delineau T., Allard T., Muller J.P., Barrès O., Yvon J., Cases J.M. (1994).** - FTIR reflectance vs. EPR studies of structural iron in kaolinites. Clays and Clay minerals, **42**, (3), 308-320.
- Delineau T. (1995).** - Les argiles kaoliniques du bassin des Charentes : analyses typologiques, cristallographiques, spéciation du fer et applications. Thèse Doc INPL, Nancy, 627 p.
- Dequatremare M., Devers T. (2012).** - Précis des matériaux. De la conception aux contrôles. Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-058221-1, 220.
- Djuric M., Ranogajec J., Marinkovic-Neducin R. (1996).** - Carbonate-containing clays in brick-making mixes : Optimisation with respect to frost resistance. Journal of the canadian ceramic society, **65**, (2), 131-138.
- Ekhardt F.J. (1958).** - Ober Chlorite in sedimenten. Geol. Jb., **75**, 437-474.
- Eko N'dong J. (1998).** - The West Central African belt: a model of 2, 5-2, 0 Ga accretion and two-phase orogenic evolution. Precambrian Research, **87**, 161-216.
- Eslinger E., Peaver D. (1988).** - Clay minerals for petroleum geologists and engineers, SEPM Short Course Note no 22. ix + 405 pp. Tulsa : Society of Economic paleontologists and mineralogists. ISBN 0 918985 000.
- Fantozzi G., Nièpce J.C., Bonnefont G. (2013).** - Les céramiques industrielles. Propriétés, mise en forme et applications. Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-057739-2. 491pp.
- Farmer V.C. (1974).** - The infrared spectra of minerals. The Mineralogical Society ed. London. 539pp.
- Fettes D., Desmons J. (2007).** - Métamorphic Rocks : A classification and Glossary of terms. Recommendations of the International Union of Geological Sciences Submission on the systematics of metamorphic Rocks. Cambridge University Press. 256 pp.
- Feybesse J.L., Johan V., Triboulet C., Guerrot C., Mayaga-Mikolo F., Bouchot V., Eko N'dong J. (1998).** - The West Central African belt: a model of 2, 5-2, 0 Ga accretion and two-phase orogenic evolution. Precambrian Research, **87**, 161-216.
- Foucault A., Raoult J.F. (2005).** - Dictionnaire de Géologie, 6^{ème} édition, Dunod, Paris. ISBN 2 10 049071 0. 24-25.
- Frontier S. (1997).** - Stratégies d'échantillonnage en écologie. Ed. Masson. 470pp.

- Geoshev D., Buchvarov S. (1992).** - Mineral formation in clays with CaO-content, *Tile & brick International*, **8**, (6), 419-420.
- Gibbs R. (1967).** - The geochemistry of the Amazon River Basin. Part I; The factors that control the salinity and the composition and concentration of suspended solids. *Geol.Soc. Amer. Bull.*, **78**, 1203-1232.
- Girard M-C, Walter C., Rémy J-C., Berthelin J., Morel J-L. (2011).** - *Sol et Environnement*. 2^e édition. Dunod, Paris, ISBN 978-2-10-054900-9. 44.
- Gobat J-M, Aragno M., Matthey W. (2010).** - *Le sol vivant. Bases de pédologie-Biologie des sols*. 3^e édition revue et augmentée. Presses polytechniques et universitaires romandes. Sciences de la terre. ISBN 978-2-88074-718-3. p15.
- Grim R.E., Lamar J.E., Bradley W.F. (1937).** - The clay minerals in Illinois limestones and dolomites. *Journ. Geol.*, **45**, 829-843.
- Grim R.E., Dietz R.S., Bradley W.F. (1949).** - Clay mineral composition of some sediments from the Pacific Ocean of the California Coast and the gulf of California. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, **60**, 1785-1808.
- Grüner J.W. (1932).** - The crystal structure of kaolinite. *Zeitschr. Krist.*, 75-88.
- Grüner J.W. (1934).** - The structures of vermiculites and their collapse by dehydration. *Amer. Min.*, **19**, 557-575.
- Grüner J.W. (1934).** - The crystal structures of talc and pyrophyllite. *Zeitschr. f. krist., Abt. A*, **88**, 412-419.
- Guggenheim S., Bain D.C., Bergaya F., Brigatti M.F., Drits V.A., Eberl D.D., Formoso M.L., Galan E., Merriman R.J., Peacor D.R., Stanjek H., Watanabe T. (2002).** - Report of the Association International Pour Etude des Argiles (AIPEA) nomenclature committee for 2001; order, disorder and crystallinity in phyllosilicates and the use of the "crystallinity index": *Clays and Clay Minerals*, **50**, (3), 406-409.
- Guiraud D., Maurin J.C. (1991).** - Le rifting en Afrique au Crétacé inférieur : synthèse structurale, mise en évidence de deux étapes dans la genèse des bassins, relation avec les ouvertures océaniques péri-africaines. *Bull. Soc. Géol. France*, **162**, (5), 811- 823.
- Harder H. (1956).** - Untersuchungen an Paragoniten und an natriumhaltigen Muskoviten. *Heidelberg. Beitr.*, **5**, 227-271.
- Hendricks S. B., Jefferson M. E. (1938).** - Crystal structure of vermiculites and mixed vermiculite-chlorites. *Amer. Min.*, **23**, 851-862.
- Hofmann U., Endeli K., Wilm D. (1933).** - Kristallstruktur und Quellung von montmorillonite. *Zeitschr. Krist.* **86**, 340-348.
- Johnsen O. (2010).** - *Guide Delachaux des minéraux : plus de 500 minéraux, leurs descriptions, leurs gisements*. ISBN 978-2-603-01728-9, 344-352.
- Johnson L.J., Chu C.H., Hussey G.A. (1985).** - *Clays & clay min* **33**, (2), 107-117.
- Johnson S.W., Blake J.M. (1867).** - On kaolinite and pholerite. *Amer. Journ. Sci.*, **43**, 351-361.
- Jordan M.M., Boix A., Sanfelieu T., Fuente C. (1999).** - Firing transformations of cretaceous clays used in the manufacturing of ceramic tiles. *Applied Clay Science*, **14**, 225-234.
- Jouenne C.A. (1990).** - *Traité de céramiques et matériaux minéraux* ; Ed. Septima. Paris, 657pp.

- Khalil A.A., Kabesh A.M. (1980).** - The use of wadi Gharandel clay deposits for various ceramic products II : Mineralogical constitution of the fired bodies, TIZ- Fachberichte Rohstoff- Engineering, 12/80, **104**, 828-832.
- Khalil A.A., Kabesh A.M. (1981).** - The use of wadi Gharandel clay deposits for various ceramic products I : Assessment of the raw materials, Thermochemica Acta., **43**, (1), 1-7.
- Khalil A.A., El-Korashy S.A. (1989).** - Firing characteristics of Sinai calcareous clays, Ceramics International, **15**, 297-303.
- Kornprobst J. (2001).** - Métamorphisme et roches métamorphiques. Signification géodynamique. Dunod 3^{ème} Ed. 248pp.
- Kretz R. (1983).** – Symbols for rock forming minerals. American Mineralogist, **68**, 277-279.
- Kubler B. (1966).** - La cristallinité de l'illite et les zones tout à fait supérieures du métamorphisme. In : Colloque sur les Etages tectoniques. A la Baconnière, Neuchatel, ed. 105-122.
- Kubler B. (1969).** - Cristallinity of illite. Détection of metamorphism in some frontal parts of the Alps (D.M.G.Tagung Bern, Réf. d. Vortrà, 29-30).
- Lapoujade P., Le Mat Y., Devidts P. Durand M., Ferrand H. Gilliot P. (1986).** - Traité pratique sur l'utilisation des produits réfractaires, Editions H.Vial 238pp.
- Lasserre G. (1958).** - Libreville, la ville et sa région (Gabon, A.E.F.) : étude de géographie humaine, A. Colin, Paris, 346pp.
- Legros J.P. (1996).** – Cartographie des sols : de l'analyse spatiale à la gestion des territoires. Presses polytechniques romandes, Lausanne, coll. << Gérer l'environnement, 321pp.
- Legros J.P. (2007).** – Les grands Sols du Monde. 1^{ère} édition. Presses polytechniques et universitaires romandes. Sciences de la terre. ISBN 978-2-88074-723-7. 335pp.
- Letellier M.C. (1986).** - Récupération et dosage des phases argileuses d'un sable de gisement. Thèse univ. Toulouse III. 201 pp.
- Liewig N., Rautureau M., Gomes C. (2012).** – Les argiles et la santé humaine : d'hier à aujourd'hui. Etude et gestion des sols. **19**, (3 - 4.), 267-277.
- Lissoulour X., Barras X. (1948).** – Rapport de fin de mission- prospection de la région de la Nyanga et de la basse Nyanga Group VII juillet – octobre 1948. Document COGEME-CEA 48 GAB RSP-3.
- MacEwan D.M.C. (1948).** – A trioctahedral montmorillonite derived from biotite. XVIII. Intern. Geol. Congr. Great Britain, Abstr., p.28.
- Mackenzie R. (1957).** – The differential thermal investigation of clays. Mineralogical Society, London. 456pp.
- Mantin I., Glaezer R. (1960).** Fixation des ions cobalti-hexamines par les motmorillonites acides. Bulletin du Groupe Français des Argiles. **50**, 83-88.
- Martini J., Makanga J.F. (2001).** – Carte métallogénique de la République Gabonaise au 1 : 1 000 000 et notice explicative. Ministère des Mines, de l'Energie, du Pétrole et des Ressources hydrauliques du Gabon.
- Maurin J.C. (1993).** - La chaîne panafricaine ouest-congolienne: corrélation avec le domaine est-brésilien et l'hy- pothèse géodynamique. Bulletin, Soc. Geol. Fr., **164**, 51–60.

- Mbina Mounguengui M., Guiraud M. (2009).** - Neocomian to early Aptian syn-rift evolution of the normal to oblique-rifted North Gabon Margin (Interior and N'komi Bassins). *Marine and Petroleum Geology*, **26**, 1000-1017.
- Mehmet B. (1997).** - Article on the study of reaction processes during the fast firing of clay roofing tiles, part I. *Ziegelindustrie International*, **50**, 895-898.
- Méring J. (1949).** - L'interférence des rayons-X dans les systèmes à stratification désordonnée. *Acta Crystallographica*, **2**, 371-377.
- Méring J. and Glaeser J. (1954).** - Sur le rôle de la valence des cations échangeables dans la montmorillonite, *Bull. Soc. Franç. Minér. Crist.* **LXXVII**, 519-530.
- Millot G. (1949).** - Relations entre la constitution et la genèse des roches sédimentaires argileuses. Thèse Sci. Nancy et Géol. Appl. *Prospec. Min.*, **2**, (2, 3, 4), 1-352.
- Millot G. (1954).** - Sur l'existence des roches argileuses composées essentiellement des chlorites. *C. R. Acad. Sci. Fr.*, **238**, 363-364.
- Millot G. (1964).** - Géologie des Argiles, altérations, sédimentologie, géochimie. Paris, Masson et C^{ie}, 1 vol., Editeurs I20, Boulevard-Saint Germain Paris 6^{ème}, 499pp.
- Moinereau J. (1977).** - Altération des matériaux basaltiques et genèse des argiles en climat tempéré humide et milieu organique. Laboratoire de Géologie et Science du Sol de l'Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier. *Cah. ORSTOM*, sér. Pédol., **15**, (2), 157-173.
- Montel J.M., Martin F. (2014).** - Minéralogie cours et exercices corrigés. Dunod, Paris. ISBN 978-2-10-060012-0, 198 pp.
- Morel R. (1996).** - Les sols cultivés. 2^{ème} édition. Lavoisier. Paris, 378pp.
- Muller J.P. (1972).** - Etude macromorphologique de sols ferrallitiques appauvris en argile du Gabon, Yaoundé (Cameroun). 77-93.
- Nagel J.L., Ebang Obiang M., Abouma Simba S. (2009a).** - Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Kango. Edition DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole et des Hydrocarbures, Libreville.
- Nagel J.L., Ebang Obiang M., Abouma Simba S., Tegye M. (2009b).** - Notice explicative de la Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Kango. Edition DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole et des Hydrocarbures, Libreville.
- Nahon D. (1991).** - Introduction to the petrology of soils and chemical weathering. Jhon Wiley et Sons Inc., New York, 313pp.
- Nicollet C. (2010).** - Métamorphisme et géodynamique. Cours et exercices corrigés, Dunod, Paris. ISBN 97-2-10-052268-2, p35.
- Njopwouo D. (1984).** - Minéralogie et physico-chimie des argiles de Bomkoul et de Balengou (Cameroun). Utilisation dans la polymérisation du styrène et dans le renforcement du caoutchouc naturel, Thèse Doct. Etat.Fac.Sci., Université de Yaoundé, 300pp.
- Oursin T., Nicollet P., Reithinger A., Zajadacz P. (1966).** - L'étude sur les possibilités d'industrialisation des pays de l'Union Douanière et Economique de l'Afrique Centrale (Cameroun, Congo/Brazzaville, Gabon, République Centrafricaine et Tchad). 326pp.
- Pascual J., Zapatero J., Jimenez de Haro M.C., Varona I., Justo A., Perez-Rodriguez J., Sanchez-Soto P.J., (2000).** - Porous mullite and mullite-based composites by

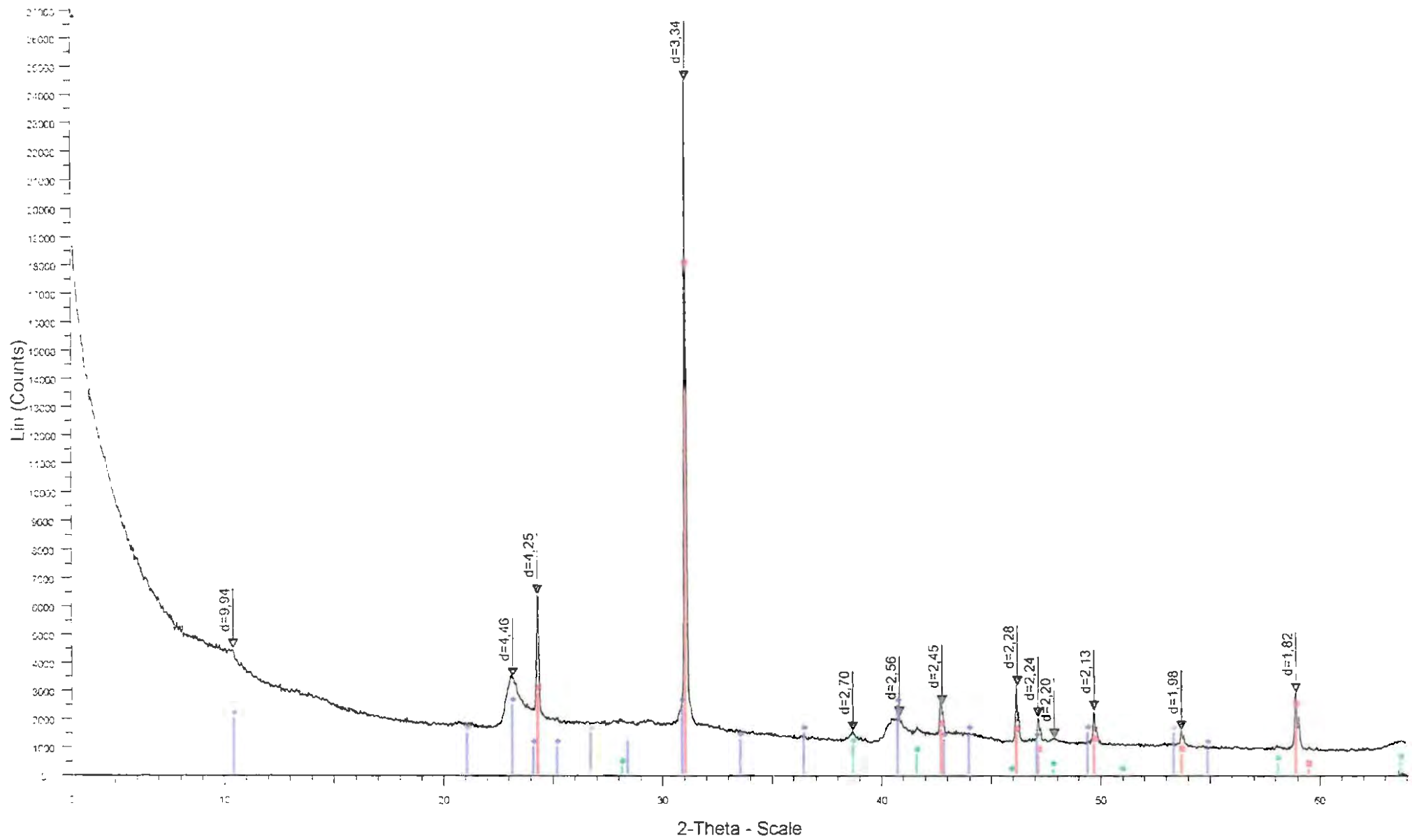
- chemical processing of kaolinite and aluminium metal wastes. *J. Mater. Chem.*, **10**, 1409–1414.
- Pomerol C., Lagabriele Y., Renard M., Guillot S. (2011).** - *Eléments de Géologie* Paris Dunod. 14^e édition. ISBN 978-2-10-055943-5. p53-54.
- Potter P.E. (1978).** - Petrology and chemistry of modern big river sands. *Journal of geology*, **86**, 423-449.
- Prian J.P., Ebang M., Siméon Y., Johan V., Tourlière B., Angel J.M. (1998).** - Synthèse géologique et géochimique, potentialités minières du degré carré Mitzié (Gabon Central) avec carte géologique à 1/200 000. République Gabonaise, Ministère de Mines et des Hydrocarbures, Libreville; BRGM, Orleans, 185 pp.
- Prian J.P., Couëffé R., Thieblemont D., Goujou J.C., Ekogha H., Boulingui B., Simon Ndoundze S., Kassadou A.B., Deschamps Y., Theunissen K. (2009a).** - Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Lambaréné. Edition DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole et des Hydrocarbures, Libreville.
- Prian J.P., Couëffé R., Thieblemont D., Cocherie A., Tegye M., Castaing C., Ekogha H., Boulingui B., Simon Ndoundze S., Kassadou A.B. (2009b).** - Notice explicative de la Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Lambaréné. Edition DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole et des Hydrocarbures, Libreville.
- Prian J.P., Thieblemont D., Préat A., Goujou J.C., Simon Ndoundze S., Ekogha H., Kassadou A.B., (2009c).** - Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Ndendé. Editions DGMG – Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures. Libreville.
- Price M., Walsh K. (2008).** - *Roches et minéraux*, Larousse. ISBN 978-2-03-560492-7, 168-169.
- Ramaswamy K., Kamalakkannan. (1995).** - Infrared study of influence of temperature on clays minerals. *Journal of thermal analysis*, **44**, 629-638.
- Rautureau M., Allègre J., Liewig N., Katouzian-Safadi M. (2008).** - «Géophagie : pica, pharmacophagie ou nécessité vitale», 22^{ème} Réunion des Sciences de la Terre, 6^{ème} colloque du Groupe Français des Argiles, Nancy, 21-24.
- Robert C, Bousquet R. (2013).** - *Géosciences la dynamique du système Terre*. Edition Belin. ISBN 978-2-7011-3816-9. 146-147.
- Ross C.S., Hendricks S.B. (1943-1944).** - Minerals of the montmorillonite Group. U.S. Géol. Surv. Prof. Pap., 205 B.
- Sahnoune F., Chegaar M., Saheb N., Goeuriot P., Valdivieso F., (2008).** - Algerian kaolinite used for mullite formation. *Appl. Clay Sci.*, **38**, 304–310.
- Schmidt-Reinholz Ch. (1991-a).** - Improvement of frost resistance of roofing tiles and facing bricks by means of additives and application of measures concerning raw materials and technology. *Tile & brick International*, **7**, (5), 325-329.
- Schmidt-Reinholz Ch. (1993).** - Influence of preparation on certain quality characteristics of building ceramics. *Tile & brick International*, **9**, (2), 81-84.
- Schmidt-Reinholz Ch., Schmidt H. (1995).** - On the effect of feldspar in brick bodies and products, *Tile & brick International*, **11**, (2), 79-87.
- Schroeder D. (1978).** - *Bodenkunde in Stichworten*. Verlag Ferdinand Hirt, Kiel.

- Séranne M., Séguret M., Faucher M. (1992).** – Seismic supr-unit and post-rift evolution of the continental passive margin of southern Gabon. *Bull. Soc. Geol. Fr.*, **163**, 135-145.
- Sigg J. (1991).** – Les produits de terre cuite. Edition Septima-L'industrie céramique, Paris, 494pp.
- Suttner L.J., Dutta P.K. (1986).** – Alluvial sandstone composition and paleoclimate ; I, Framework mineralogy. *Journal of sedimentary research*, **56**, (3), 329-345.
- Teisserenc P., Villemmin J. (1990).** – Sédimentary basins of Gabon : geology and oil systems,. In: Divergent/passive margin basins (J.D. Edwards and P.A. Santogrossi eds), AAPG Memoir, **48**, 117-199.
- Thiéblemont D., Kassadou A.B., Bouton P., Agenbacht A., Simo Ndounze S., Moussavou M., Theunissen K. (2009 h).** – Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Batouala. Editions DGMG – Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures. Libreville.
- Thiéblemont D., Bouton P., Gouin J., Kassadou A.B., Tegye M., Agenbacht A., Cocherie A., Guerrot C., Moussavou M. (2009 i).** – Notice explicative de la Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Batouala. Editions DGMG – Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures. Libreville.
- Thomas R.J., Makanga J.F., Chevallier L. (2001).** – Carte Géologique de la République Gabonaise à 1/1 000 000. 2^{ième} édition. Editions DGMG Gabon.
- Thorez J. (1975).** – Phyllosilicates and clay minerals a laboratory handbook for their X-Ray diffraction analysis. Edition G.LELOTTE. B 4820 DISON (Belgique), 578pp.
- Thiébaud J. (1951).** – Etude géologique des terrains métamorphiques de la grande Kabylie. *Bull. Serv. Carte Géol. Algérie*, **6**, 1-1975.
- Thiéblemont D., Castaing C., Bouton P., Billa M., Priant J.P., Goujou J.C., Boulingui B., Ekogha H., Kassadou A., Simo Ndounze S., Ebang Obiang M., Nagel J.L., Abouma Simba S., Husson Y. (2009).** – Carte géologique et des ressources minérales de la République Gabonaise à 1/1 000 000. Editions DGMG – Ministère des Mines, du Pétrole, des hydrocarbures, Libreville.
- Thiéblemont D., (2009).** – Les formations superficielles au Gabon : sédimentation vs altération. 12^{ième} congrès de l'ASF, Rennes, 25-31 octobre 2009.
- Thiéblemont D., Castaing C., Billa M., Bouton P., Prétat A. (2009).** – Notice explicative de la Carte géologique et des Ressources minérales de la République Gabonaise à 1/1000 000. Editions DGMG - Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures, Libreville, 243 - 244.
- Thiéblemont D., Kassadou A.B., Bouton P., Agenbacht A., Simo Ndounze S., Moussavou M., Theunissen K. (2009 h).** – Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Batouala. Editions DGMG – Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures. Libreville.
- Thiéblemont D., Bouton P., Gouin J., Kassadou A.B., Tegye M., Agenbacht A., Cocherie A., Guerrot C., Moussavou M. (2009 i).** – Notice explicative de la Carte géologique de la République du Gabon à 1/200 000, feuille Batouala. Editions DGMG – Ministère des Mines, du Pétrole, des Hydrocarbures. Libreville.
- Thomas R.J., Makanga J.F., Chevallier L. (2001).** – Carte Géologique de la République Gabonaise à 1/1 000 000. 2^{ième} édition. Editions DGMG Gabon.

- Van Olphen H., Fripiat J.J. (1979).** - Data handbooks for clay materials and other non-metallic minerals. British Library Cataloguing in Publication Data. Organization for economic Co-operation and development 549'.67 QE389.625 78-41214 ISBN 0-08-022850-X. 346pp.
- Velde B. (1992).** - Introduction to clay minerals. Chapman and Hall. Londres ISBN: 0.412.37030.1. 198pp.
- Viswabaskaran V., Gnanam F. D., Balasubramanian M., (2003).** – Mullitisation behaviour of calcined clay-alumina mixtures, *Ceram. Int.*, **29**, 561-571.
- Viswabaskaran V., Gnanam F.D., Balasubramanian M., (2004).** - Mullite from clay reactive alumina for insulating substrate application. *Appl. Clay Sci.* **25**, 29-35.
- Webster R., Olivier M.A. (2001).** – Géostatics for Environmental Scientists, Wiley & Sons, Chichester, 271pp.
- Yvon J., Baudracco J., Cases J.M., Weiss J. (1990).** - Eléments de minéralogie quantitative en micro-analyse des argiles. In: *Matériaux Argileux, Structures, Propriétés et Applications*. SFMC - GFA, Paris. Decarreau A. éditeur, ISBN 2-903589-06-02, Partie IV, Chap. 3, 473- 489.
- Yvon J., Cases J.M., Mercier R., Delon J.F. (1987).** - Proc. VIIIth Int. Clay Conf. The Clay Mineral Society L.G. Schultz, H. Van Olphen & F.A. Mumpton ed. 257- 260.
- http://ceramique.poterie.free.fr/argile_cuisson.htm.

ANNEXES

1PK14



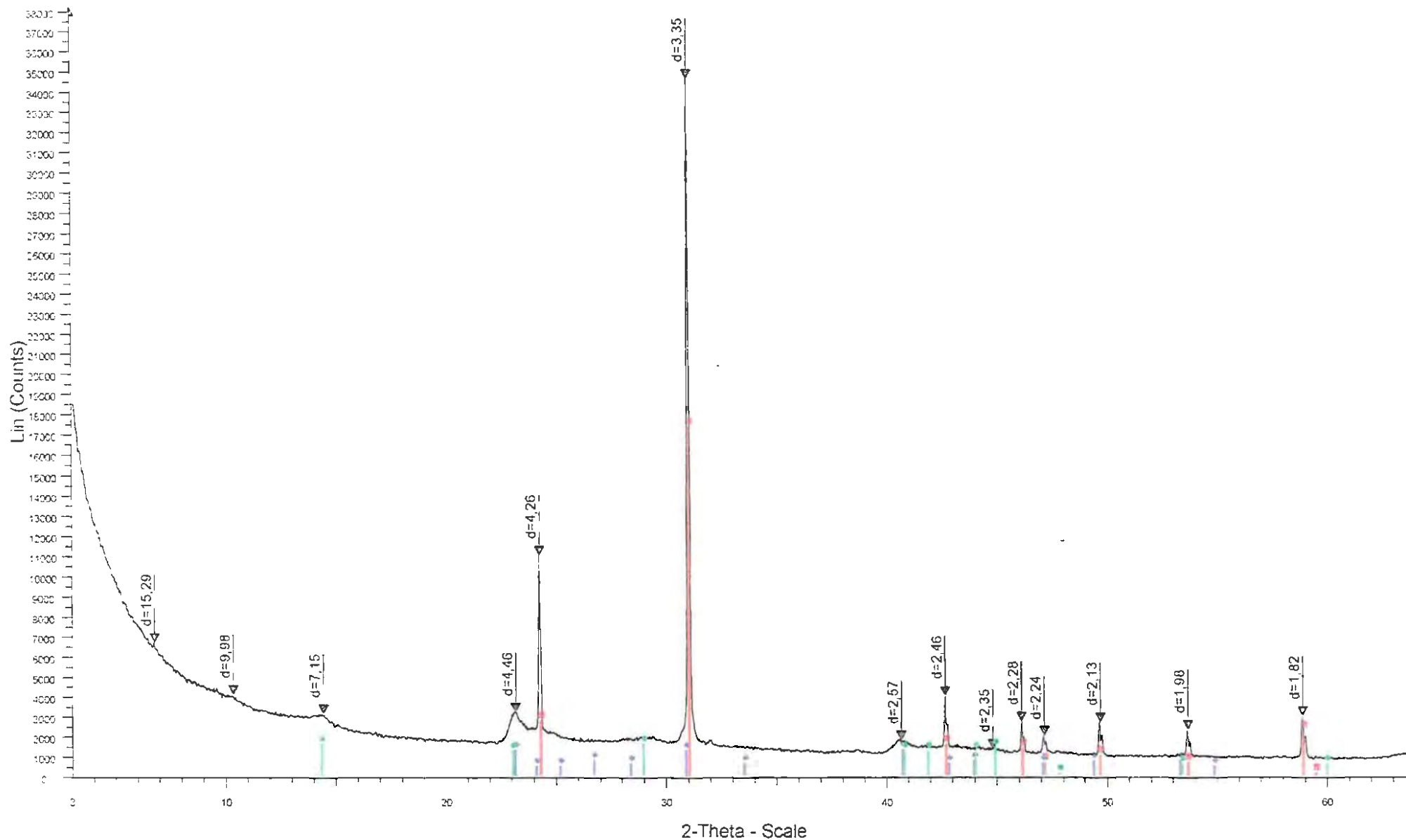
File: Boulingui-01 raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570 1 s - Comment: Det LynxEye - Creation: 10/06/2009 19 52:41

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H₂O

33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃

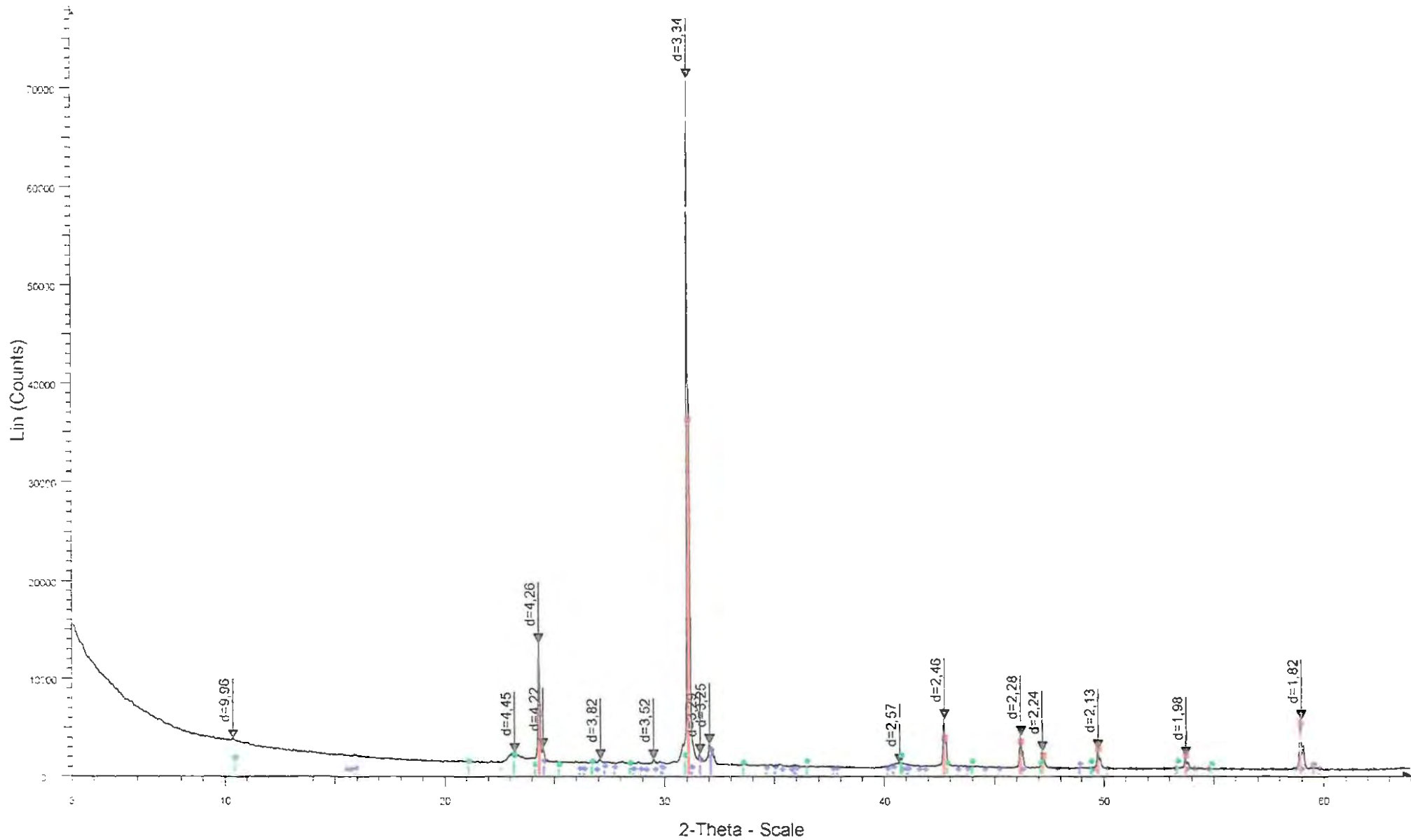
2PK14



File: Boulingui-02.raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Det: LynxEye - Creation: 11/06/2009 00:26:34

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H₂O
- 06-0221 (D) - Kaolinite :M.d - Al₂Si₂O₅(OH)₄

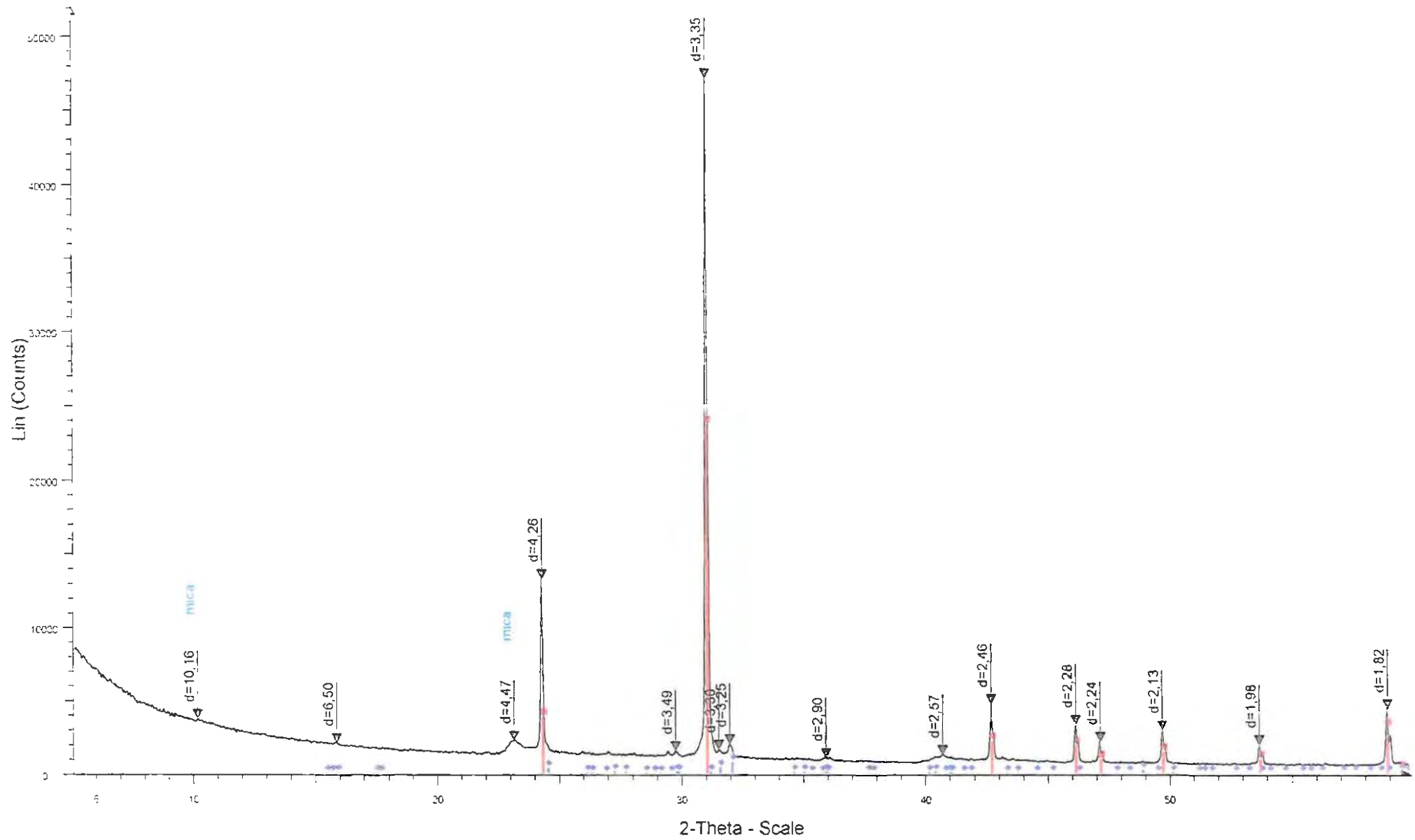
4PK24



File: Boulingui-03 raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Dét. LynxEye - Creation: 10/06/2009 13:03:45

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2
- 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi3O8
- 09-0334 (D) - Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H2O

5PK24

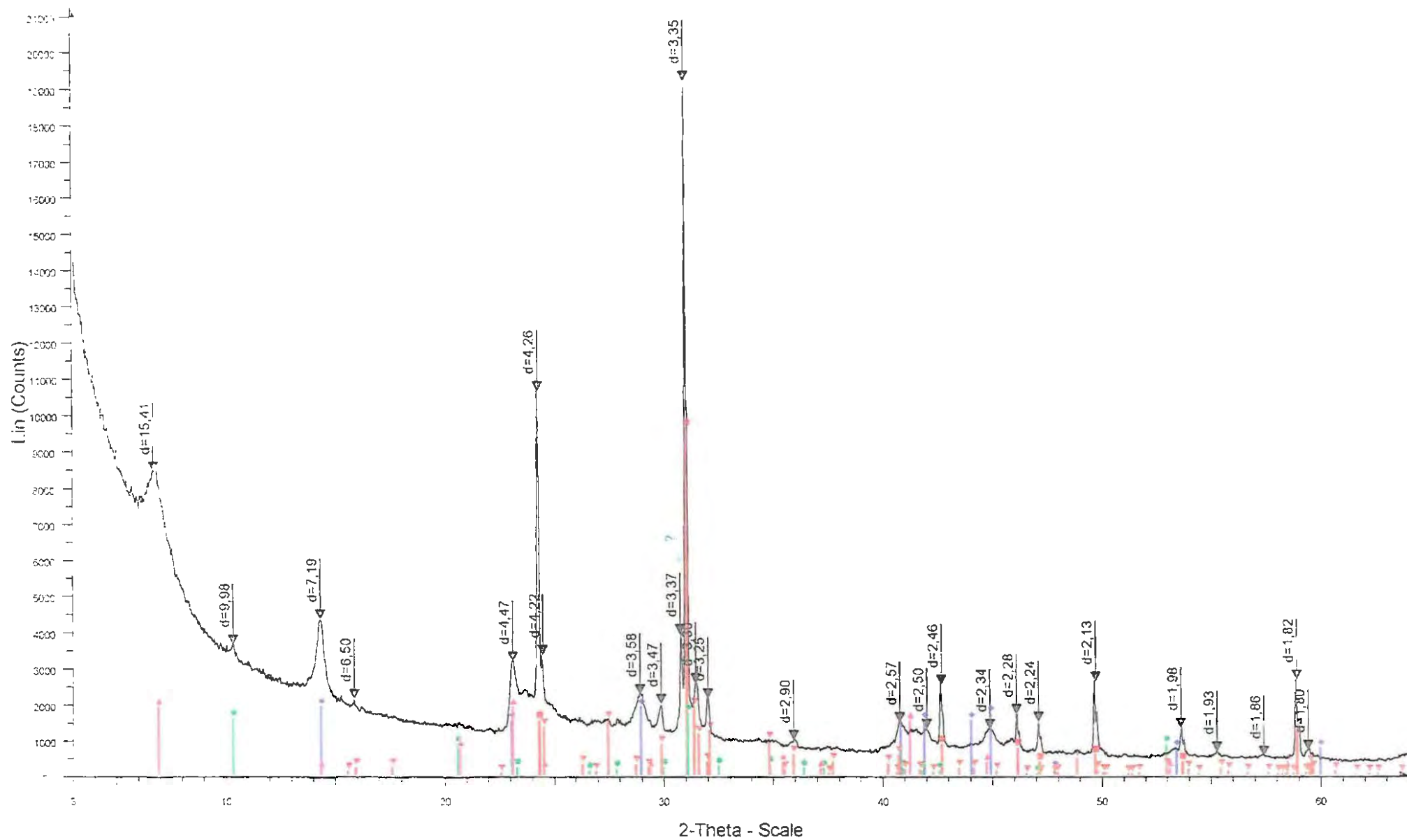


File: Boulingui-04 raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Det: LynxEye - Creation: 11/06/2009 15:51:50

46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂

19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAIS308

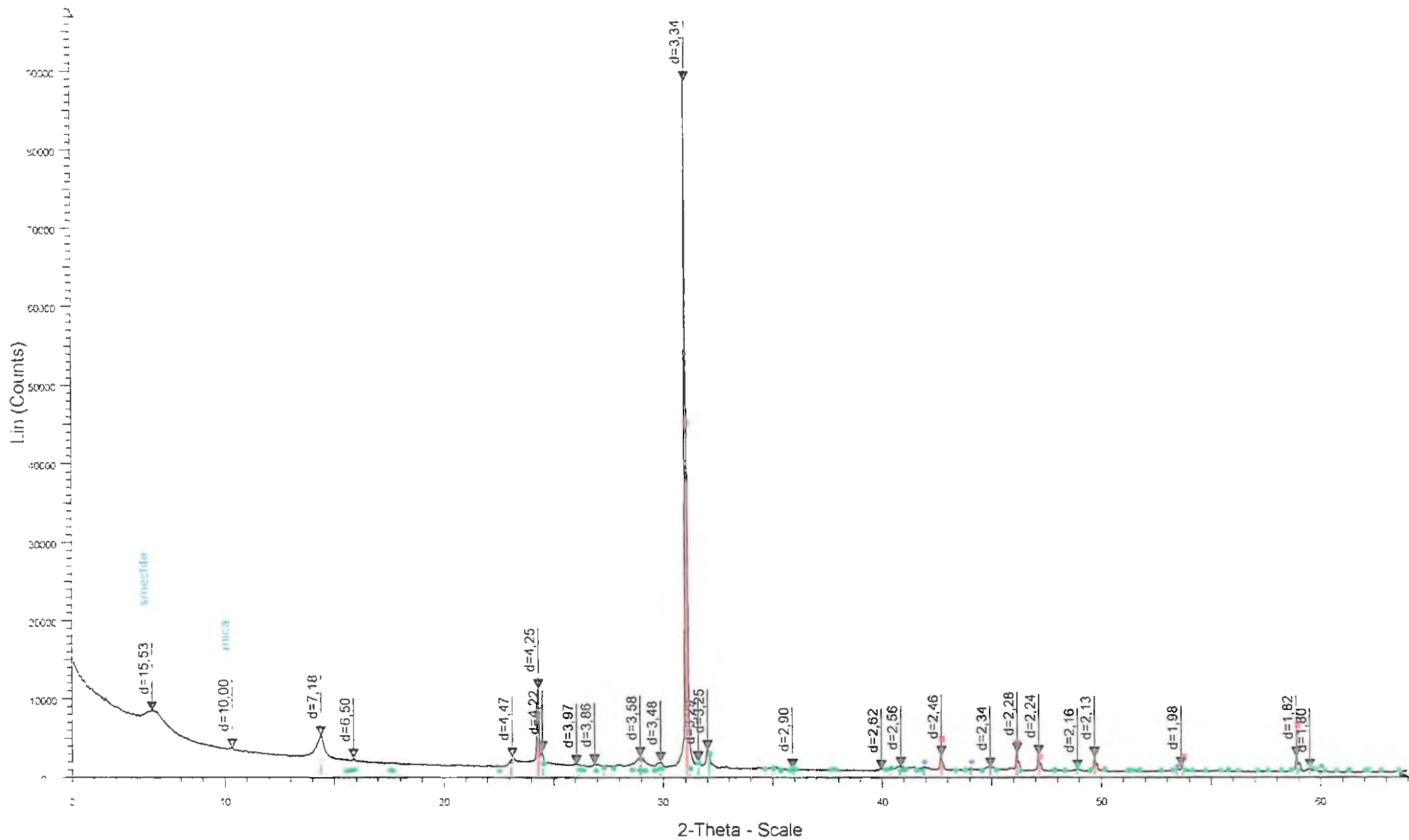
6MKA1



File: Boulingui-05.raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570 1 s - Comment: Det. LynxEye - Creation: 11/06/2009 18:54:26

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2
- 06-0221 (D) - Kaolinite 1Mc - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- 26-0911 (I) - Illite-2M1 - $(\text{K},\text{H}_3\text{O})\text{Al}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$
- 03-0014 (D) - Montmorillonite - $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$
- 31-0966 (*) - Orthoclase - KAlSi_3O_8

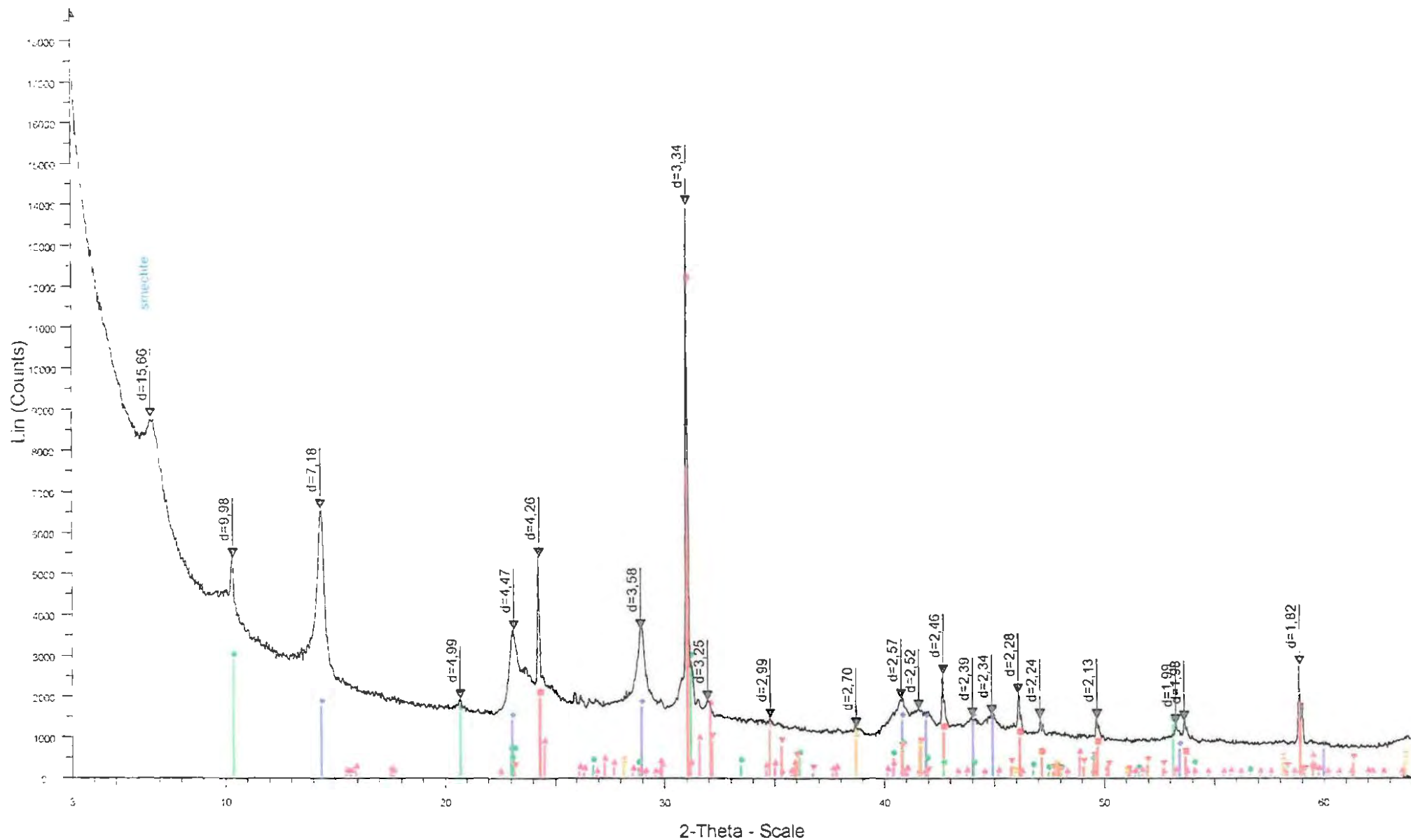
7MKA1



File: Boulingui-05.raw - Start 3.000 ° - End 64.005 ° - Step 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Dét. LynxEye - Creation: 10/06/2009 22:55:16

- 46-1045 (*) - Quartz, syn. - SiO₂
- 06-0221 (D) - Kaolinite 1Md - Al₂Si₂O₅(OH)₄
- 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAIS/306

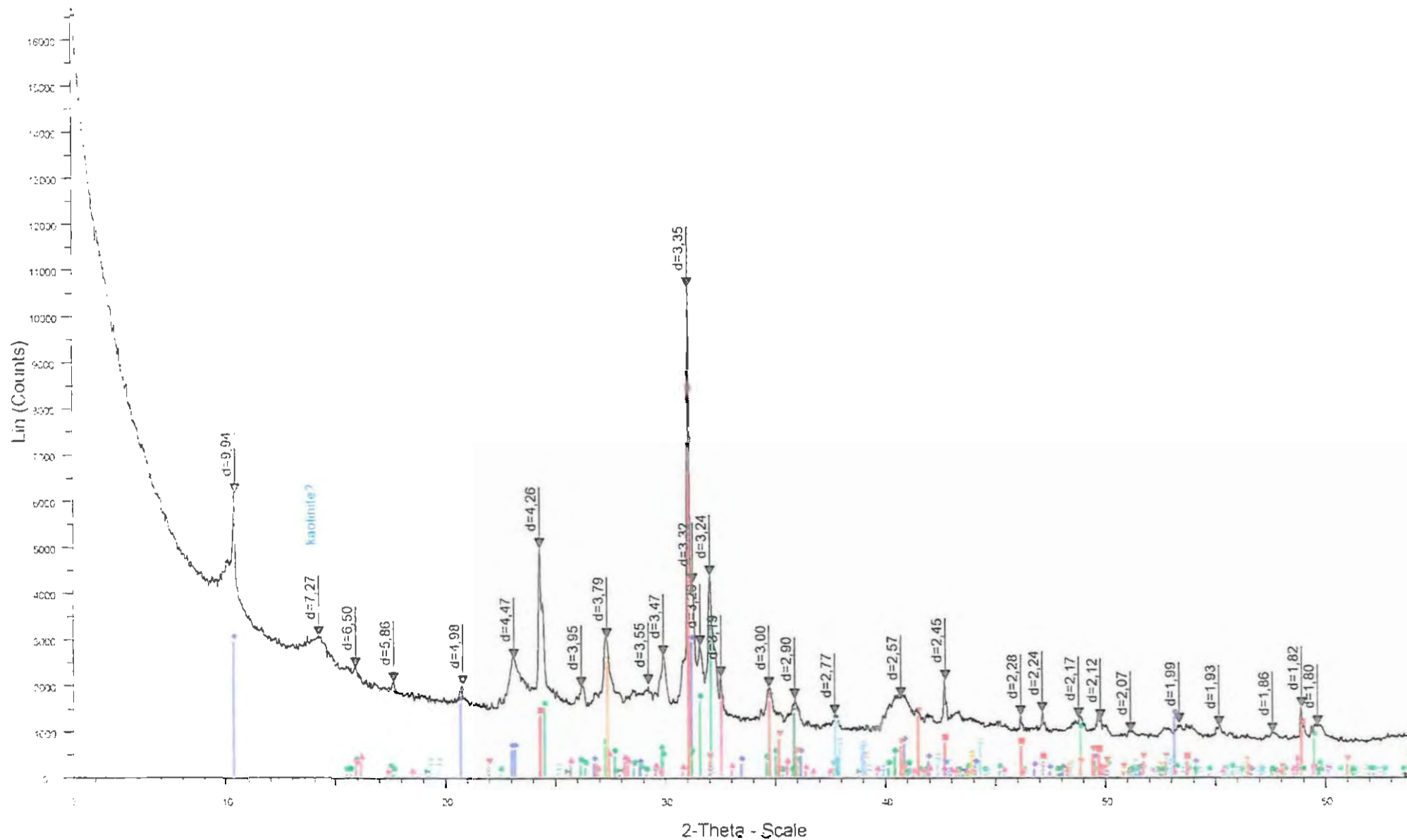
8MKA1



File: Boulingui-07 raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Dét. LynxEye - Creation: 11/06/2009 12:33:43

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO_2
- 06-0221 (D) - Kaolinite 1Md - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- 07-0042 (I) - Muscovite-3T - $(\text{K},\text{Na})(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_2(\text{Si}_3\text{ 1Al0 9})\text{O}_{10}(\text{OH})_2$
- 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi_3O_8
- 24-0203 (I) - Augite - $\text{Ca}(\text{Mg},\text{Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$
- 33-0564 (*) - Hematite, syn - Fe_2O_3

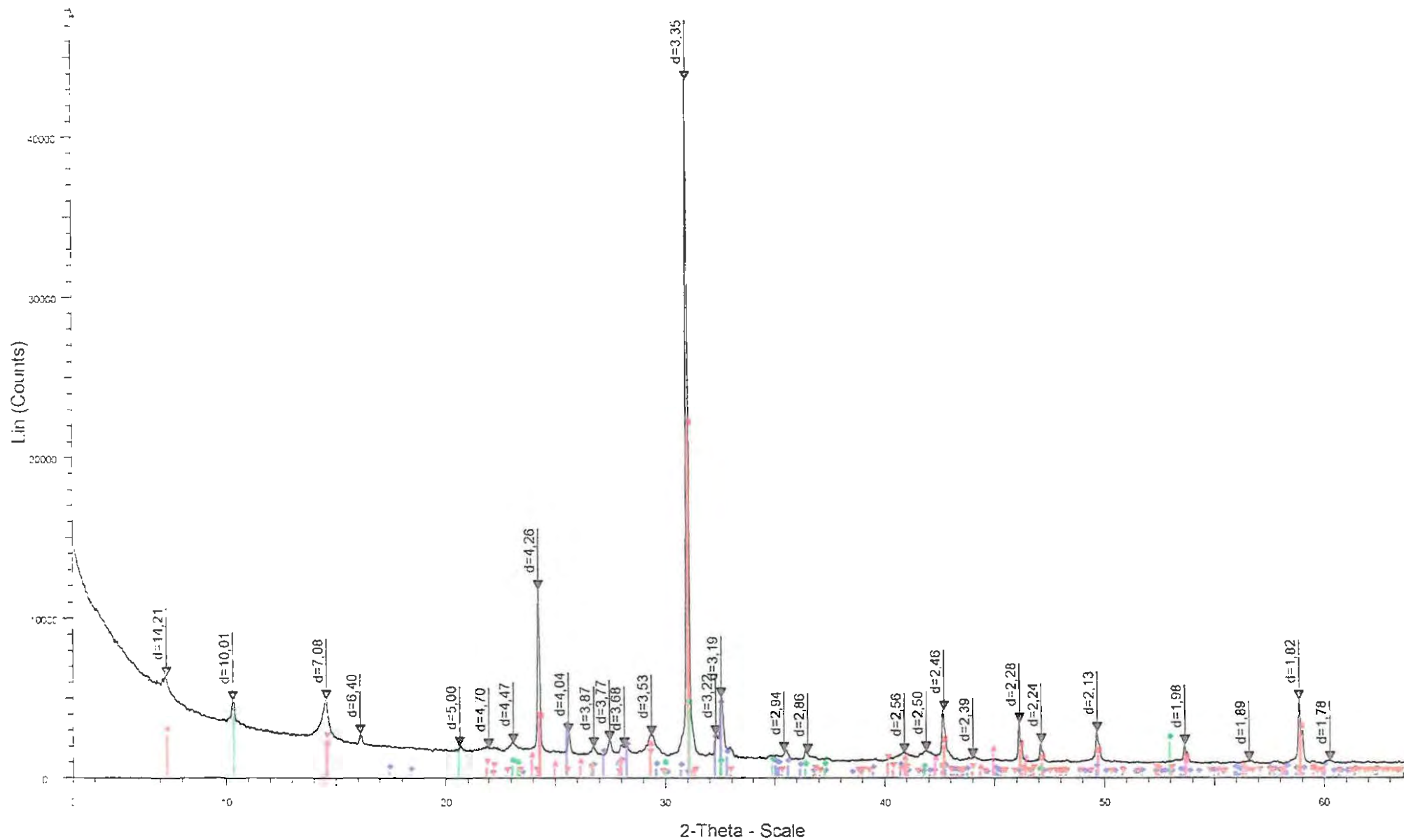
9MKA1



File: Boulingui-08 raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: 08-0448 (*) - Thermonatrite, syn - Na₂CO₃·H₂O

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 07-0042 (I) - Muscovite-3T - (K,Na)(Al,Mg,Fe)₂(Si_{3.1}Al_{0.9})O₁₀(OH)₂
- 19-0932 (I) - Microcline, intermediate - KAlSi₃O₈
- 09-0466 (*) - Albite, ordered - NaAlSi₃O₈
- 24-0201 (I) - Augite - Ca(Fe,Mg)Si₂O₆
- 46-1436 (*) - Bernalite - Fe³⁺(OH)₃
- 41-0585 (*) - Ankerite - Ca(Fe²⁺,Mg)(CO₃)₂

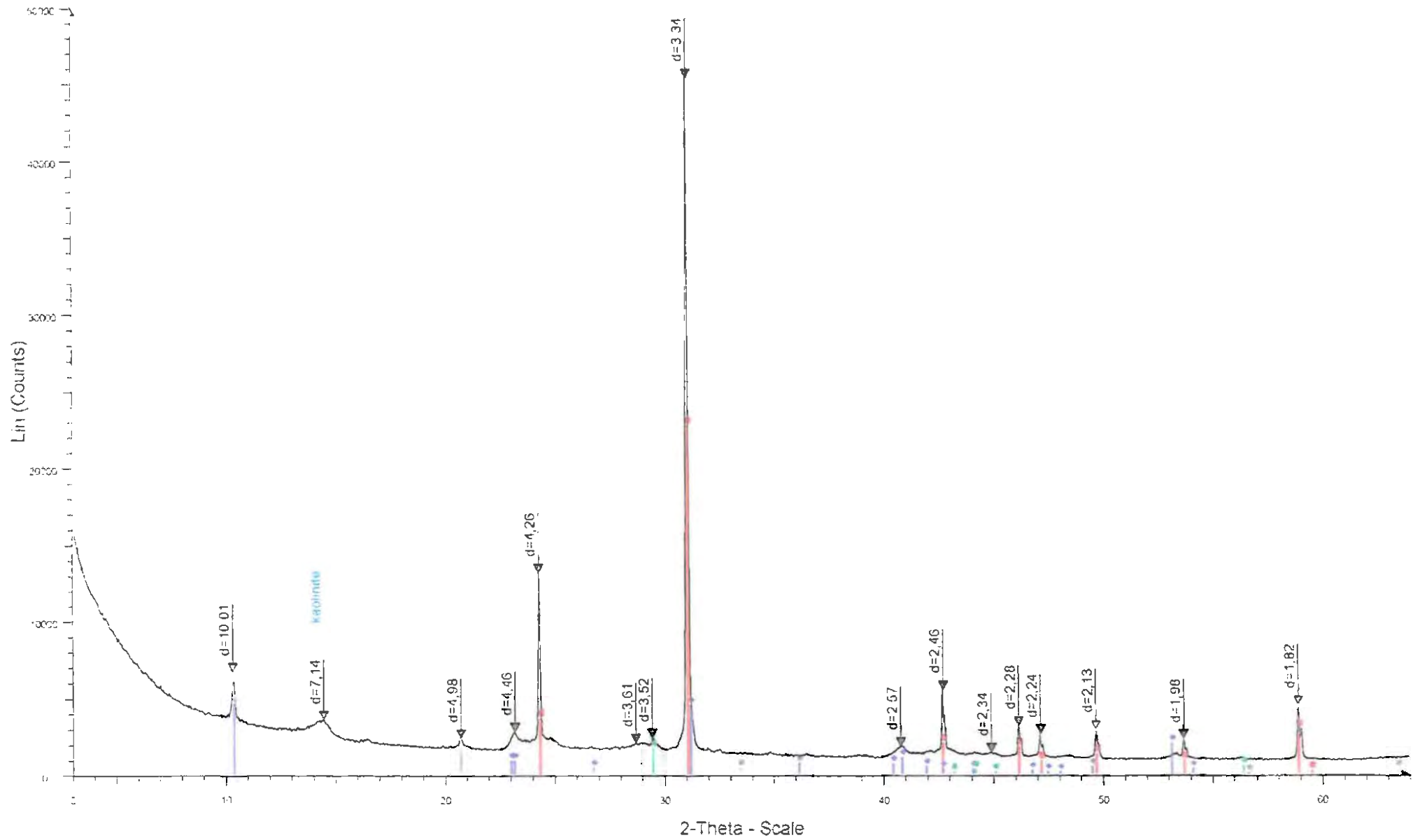
10MCO



File: Boulingui-09.raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Det: LynxEye - Creation: 11/06/2009 17:23:08

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 75-0897 (C) - Albite low - Na(AlSi₃O₈)
- 26-0911 (I) - Illite-2M1 - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂
- 03-0059 (D) - Kaolinite - Al₂Si₂O₅(OH)₄
- 72-1234 (C) - Magnesium Iron Aluminum Silicate Hydroxide - Mg_{2.5}Fe_{1.65}Al_{1.5}Si_{2.2}Al_{1.8}O₁₀(OH)₈

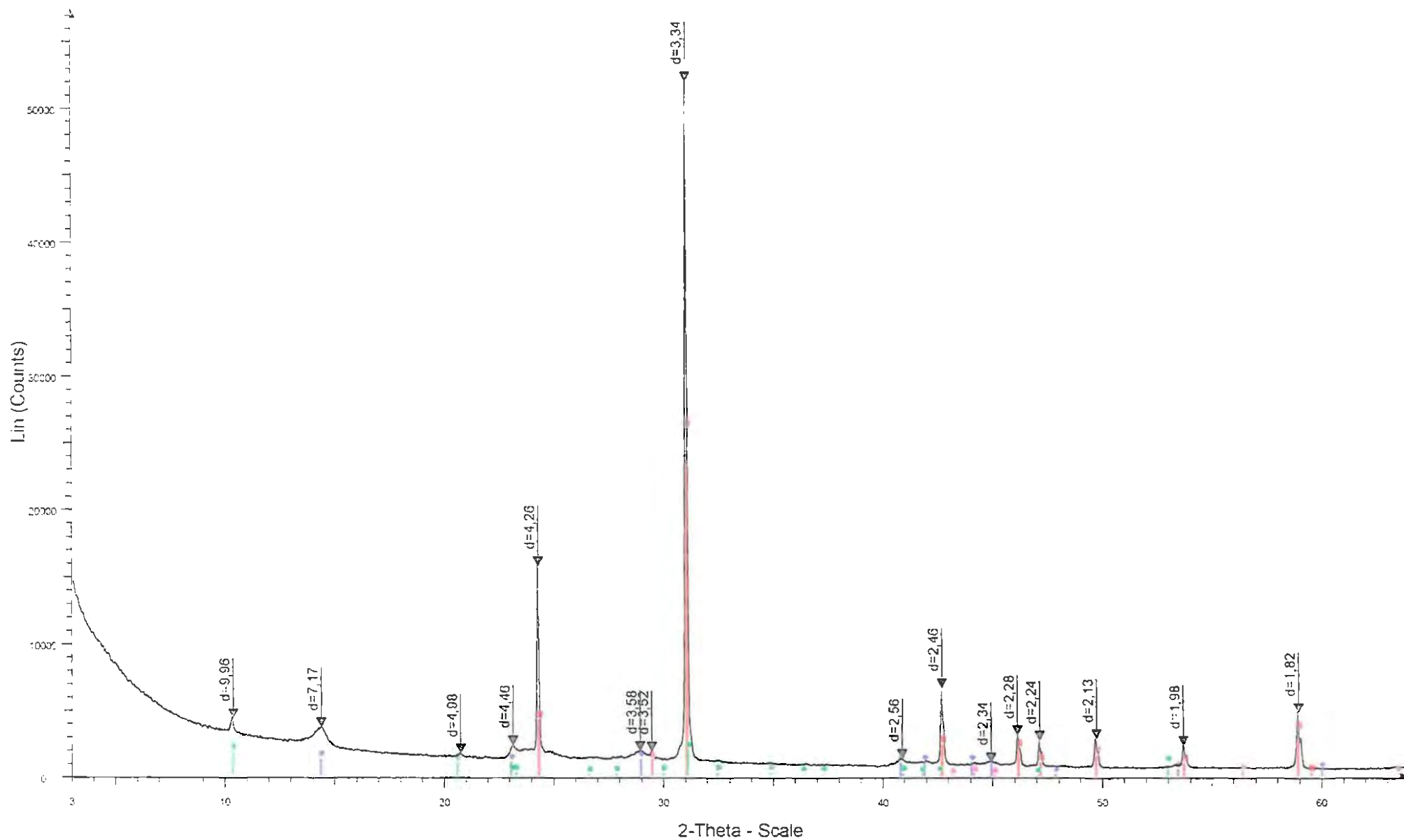
11MCO



File: Boulingui-10.raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Det: LynxEye - Creation: 11/06/2009 11:02:25

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 07-0042 (I) - Muscovite-3T - (K,Na)(Al,Mg,Fe)₂(Si_{3.1}Al_{0.9})O₁₀(OH)₂
- 21-1272 (*) - Anatase, syn - TiO₂

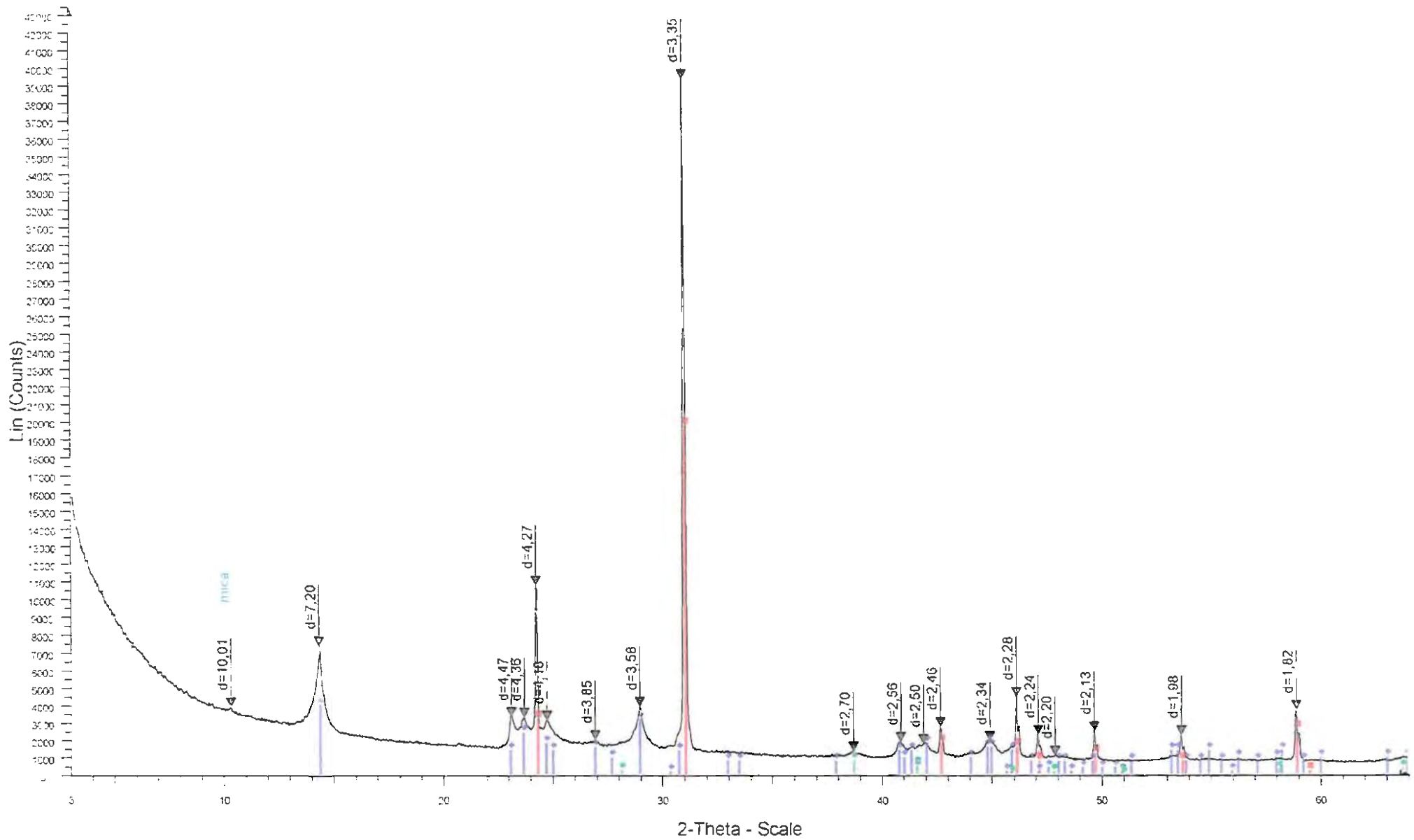
12MCO



File: Boulingui-11.raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Det: LynxEye - Creation: 10/06/2009 18:21:23

- 48-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 06-0221 (D) - Kaolinite 1Md - Al₂Si₂O₅(OH)₄
- 26-0911 (I) - Illite-2M1 - (K,H₃O)Al₂Si₃AlO₁₀(OH)₂
- 21-1272 (*) - Anatase, syn - TiO₂

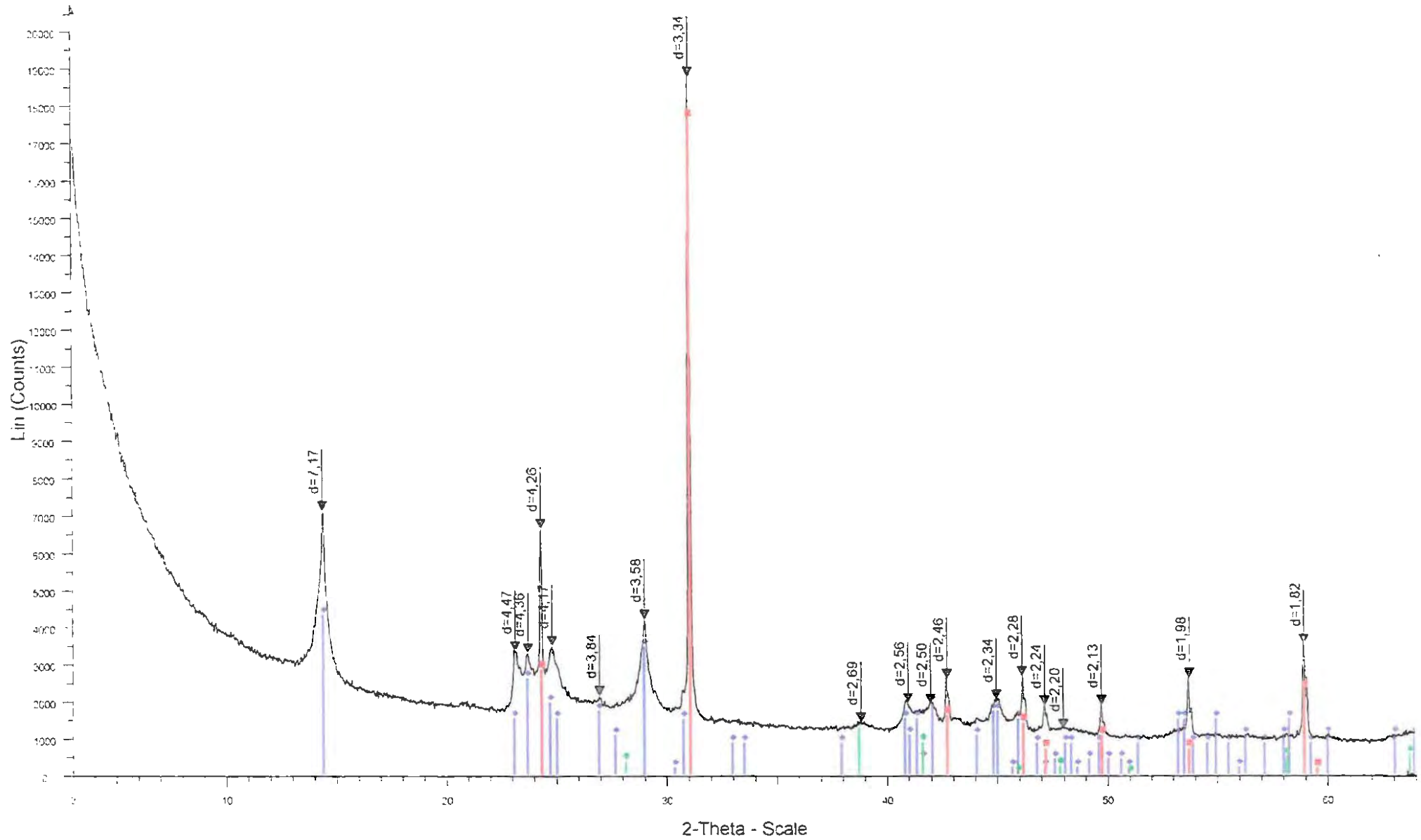
13MGC



File: Boulingui-12 raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Dét. LynxEye - Creation: 11/06/2009 14:04:59

- 48-1045 (*) - Quartz, syn - SiO2
- 14-0164 (I) - Kaolinite-1A - Al2Si2O5(OH)4
- 33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe2O3

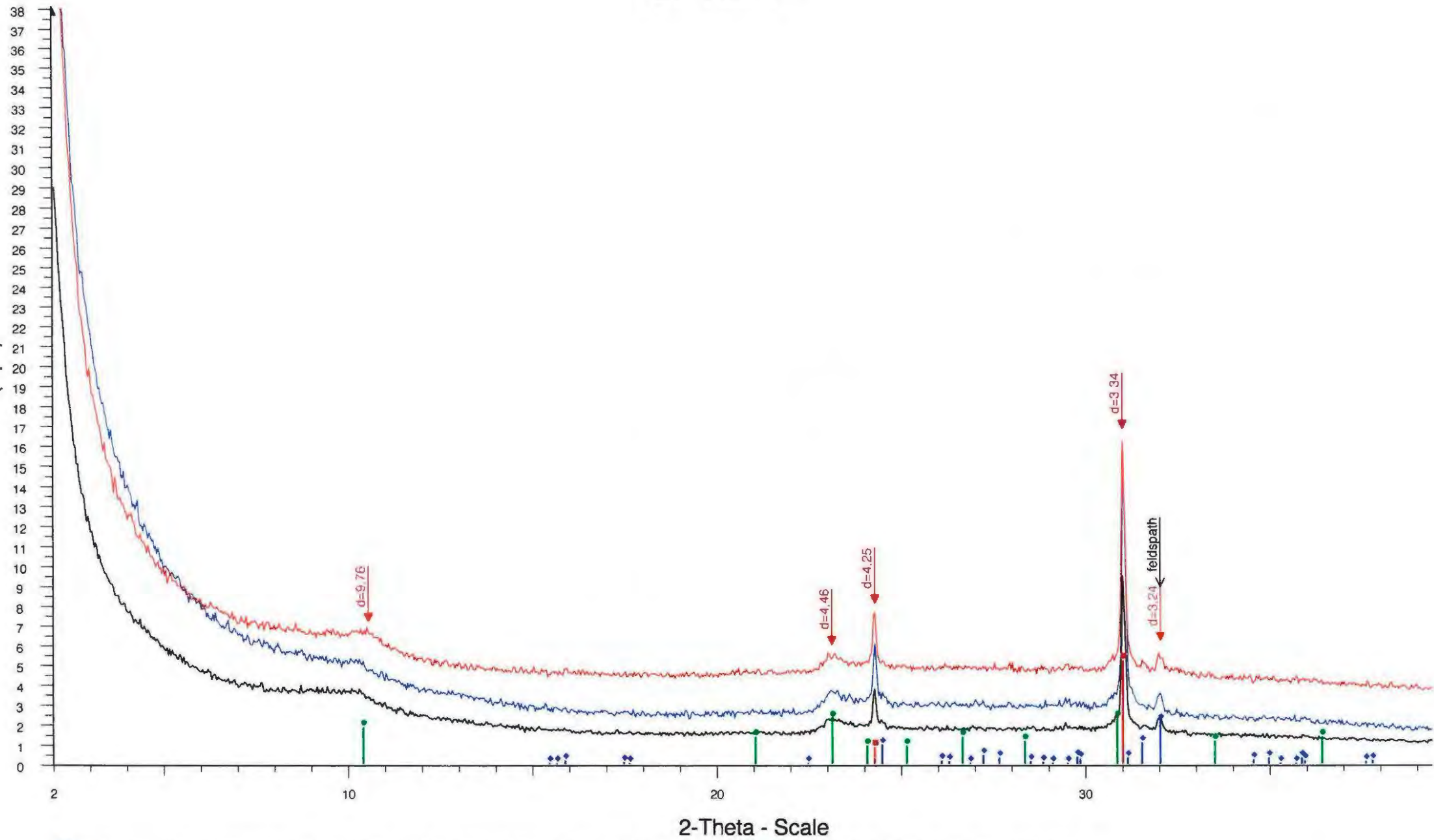
14MGC



File: Boulingui-13.raw - Start: 3.000 ° - End: 64.005 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 570.1 s - Comment: Dét. LynxEye - Creation: 10/06/2009 14 35:03

- 46-1045 (*) - Quartz, syn - SiO₂
- 14-0164 (I) - Kaolinite-1A - Al₂Si₂O₅(OH)₄
- 33-0664 (*) - Hematite, syn - Fe₂O₃

5PK24



File: Boulingui-51.raw - 5PK24-EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation: Illite 2M1 - K-Na-Mg-Fe-Al-Si-O-H₂O - 00-009-0334 (D)

Operations: Y Scale Add -125 | Y Scale Add 125 | Import

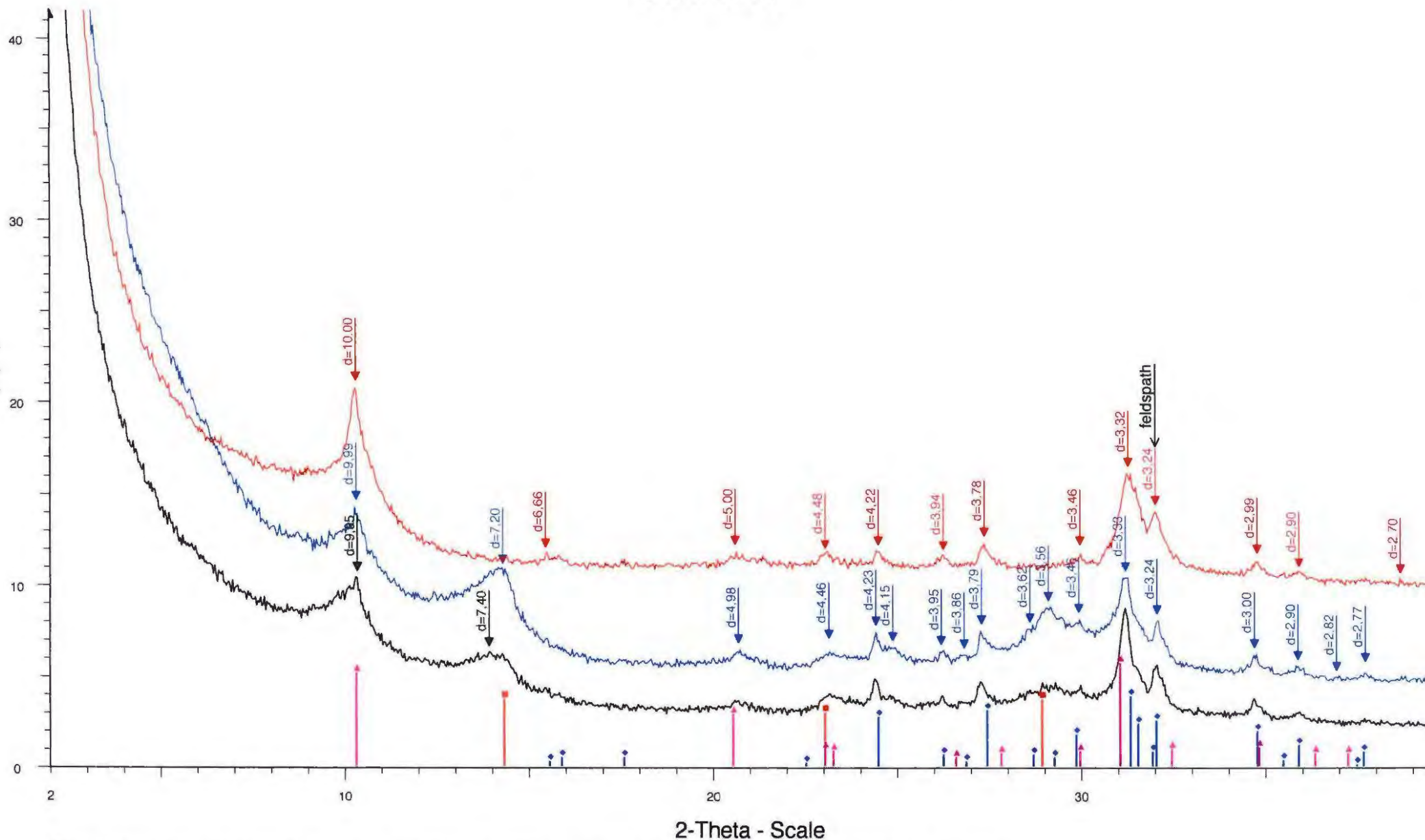
File: Boulingui-52.raw - 5PK24-LN - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation:

Operations: Y Scale Mul 0.625 | Import

File: Boulingui-53.raw - 5PK24-550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation:

Operations: Y Scale Add -4 | Y Scale Add 1000 | Y Scale Add 1000 | Import

Quartz. svn - SiO₂ - 00-046-1045 (*)



File: Boulingui-47.raw - 9MKA1-LN - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation: Orthoclase - KAlSi3O8 - 00-031-0966 (*)

Operations: Import

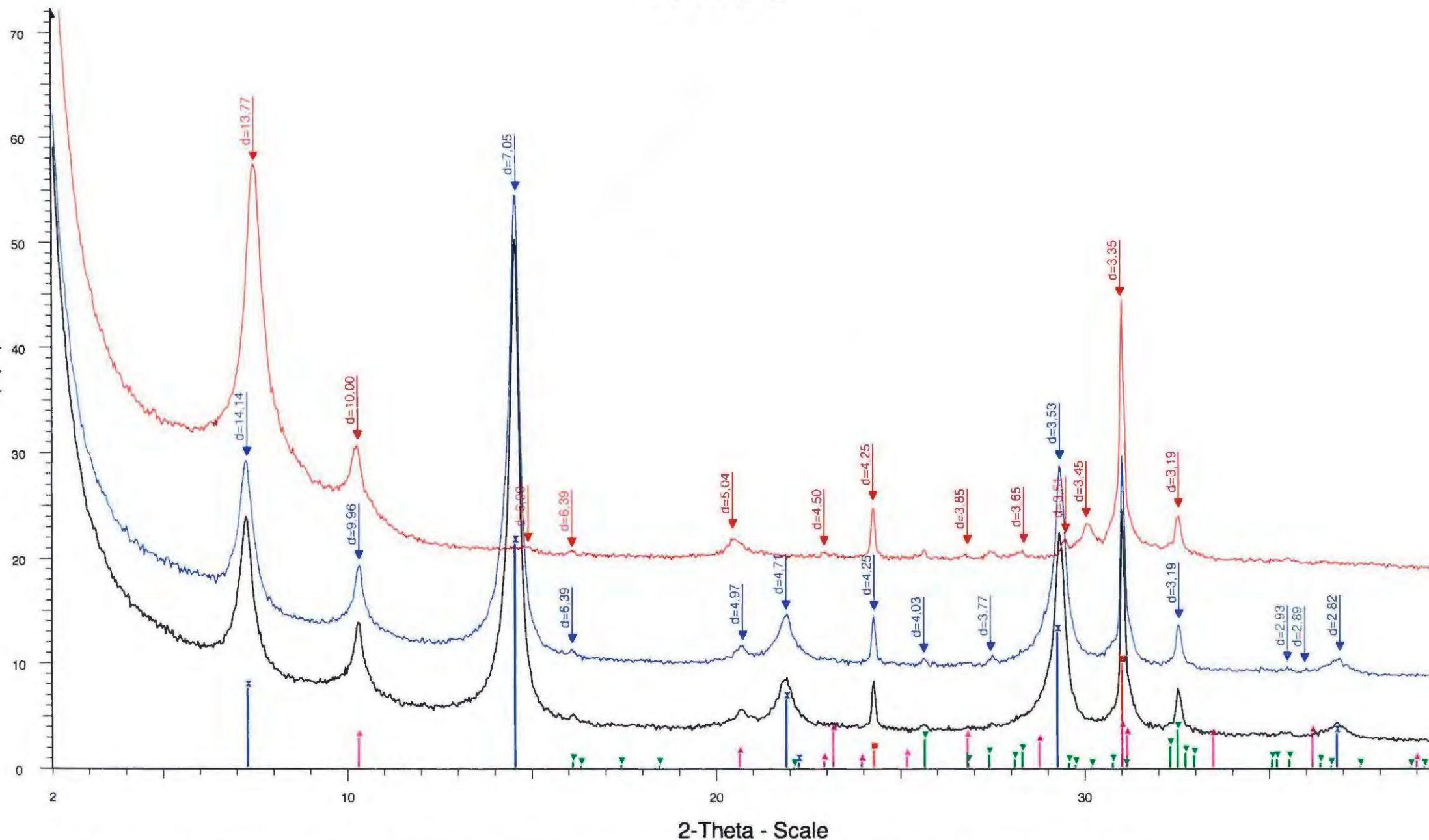
File: Boulingui-49.raw - 9MKA1-EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation

Operations: Y Scale Add -125 | Y Scale Add 792 | Import

File: Boulingui-54.raw - 9MKA1-550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation

Operations: Y Scale Add -4 | Y Scale Add 3813 | Import

Kaolinite 1Md - Al2Si2O5(OH)4 - 00-006-0221 (D)



2-Theta - Scale

File: Boulingui-50.raw - 10MCO-LN - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation
 Operations: Y Scale Add -83 | Import

File: Boulingui-48.raw - 10MCO-EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation
 Operations: Y Scale Add 833 | Y Scale Add 1063 | Import

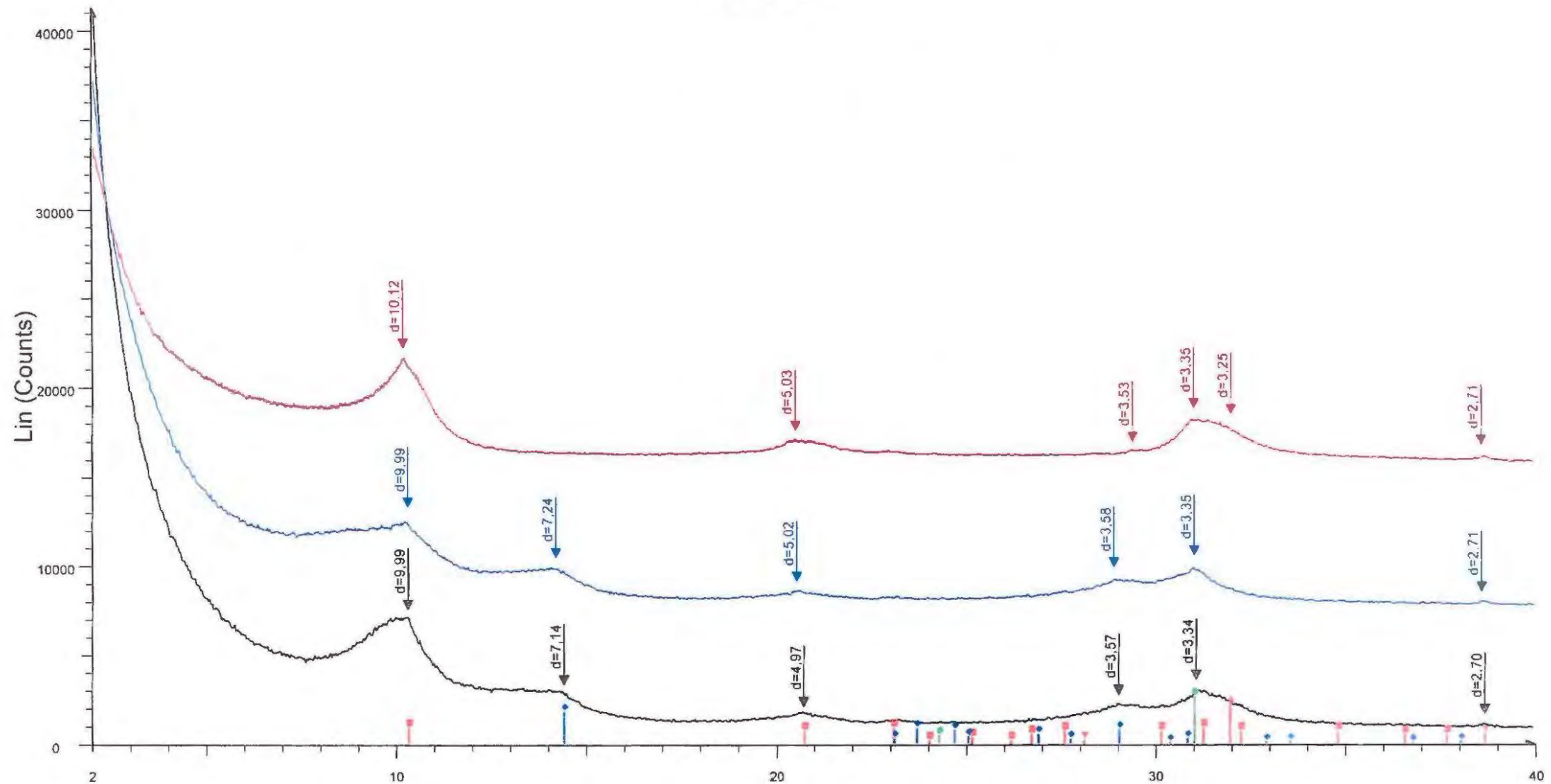
File: Boulingui-55.raw - 10MCO - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation: 10
 Operations: Y Scale Add 5125 | Import

Quartz, svn - SiO₂ - 00-046-1045 (*)

Clinocllore-1M1lb, ferroan - (Mg,Fe)₆(Si,Al)₄O₁₀(OH)₈ - 00-029-0701 (I)

Albite low - Na(AlSi₃O₈) - 01-074-0603 (C)

1Pk14



File: Boulingui-20.raw - 1Pk14 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creati
Operations: Import

File: Boulingui-33.raw - 1Pk14 - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
Operations: Y Scale Add -8438 | Y Scale Add 17813 | Y Scale Add 5625 | Import

File: Boulingui-38.raw - 1Pk14 - EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
Operations: Y Scale Add 6875 | Import

Illite - $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$ - 00-002-0056 (D)

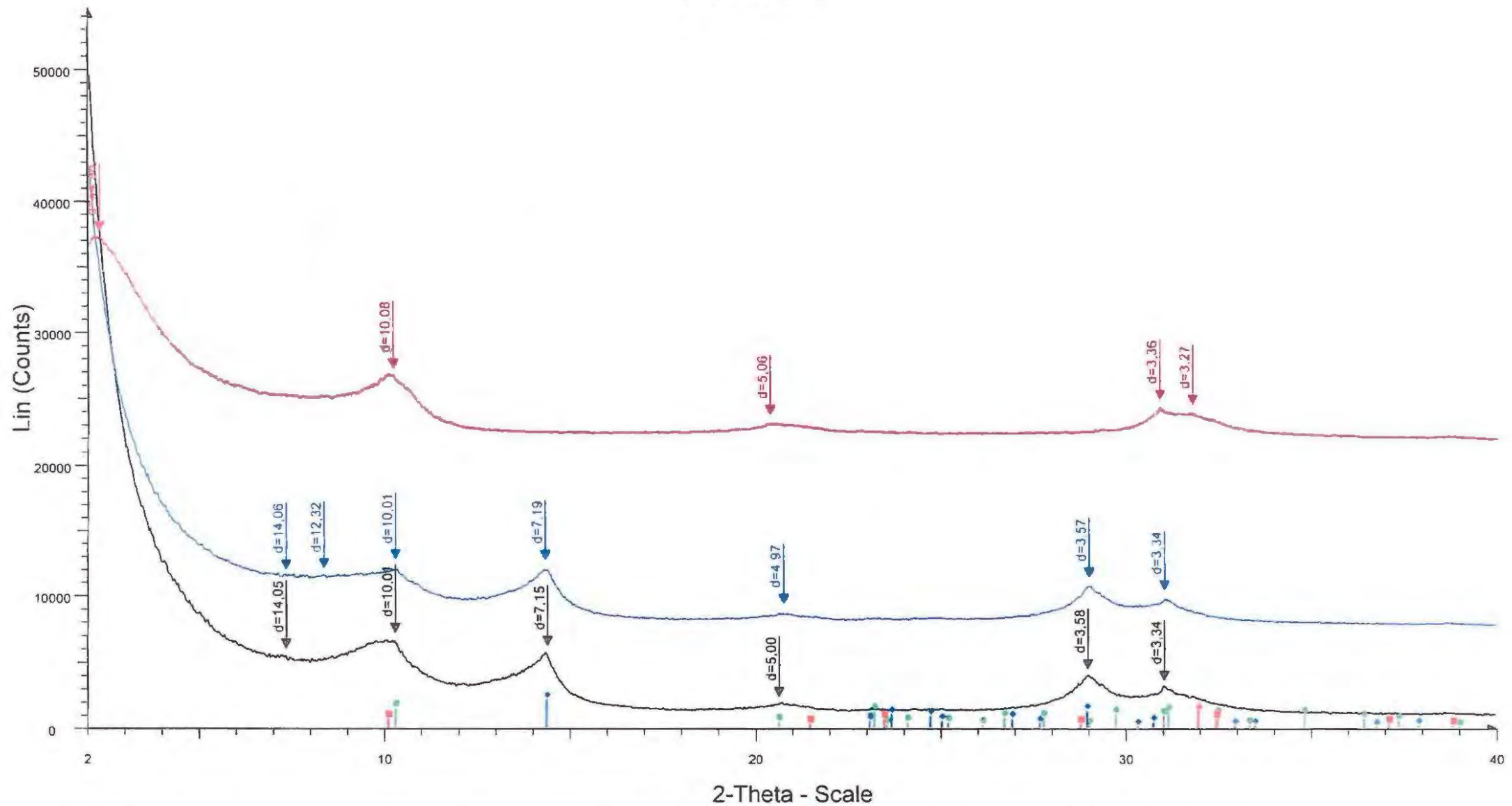
Kaolinite - $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - 01-083-0971 (C)

Quartz, syn - SiO_2 - 00-046-1045 (*)

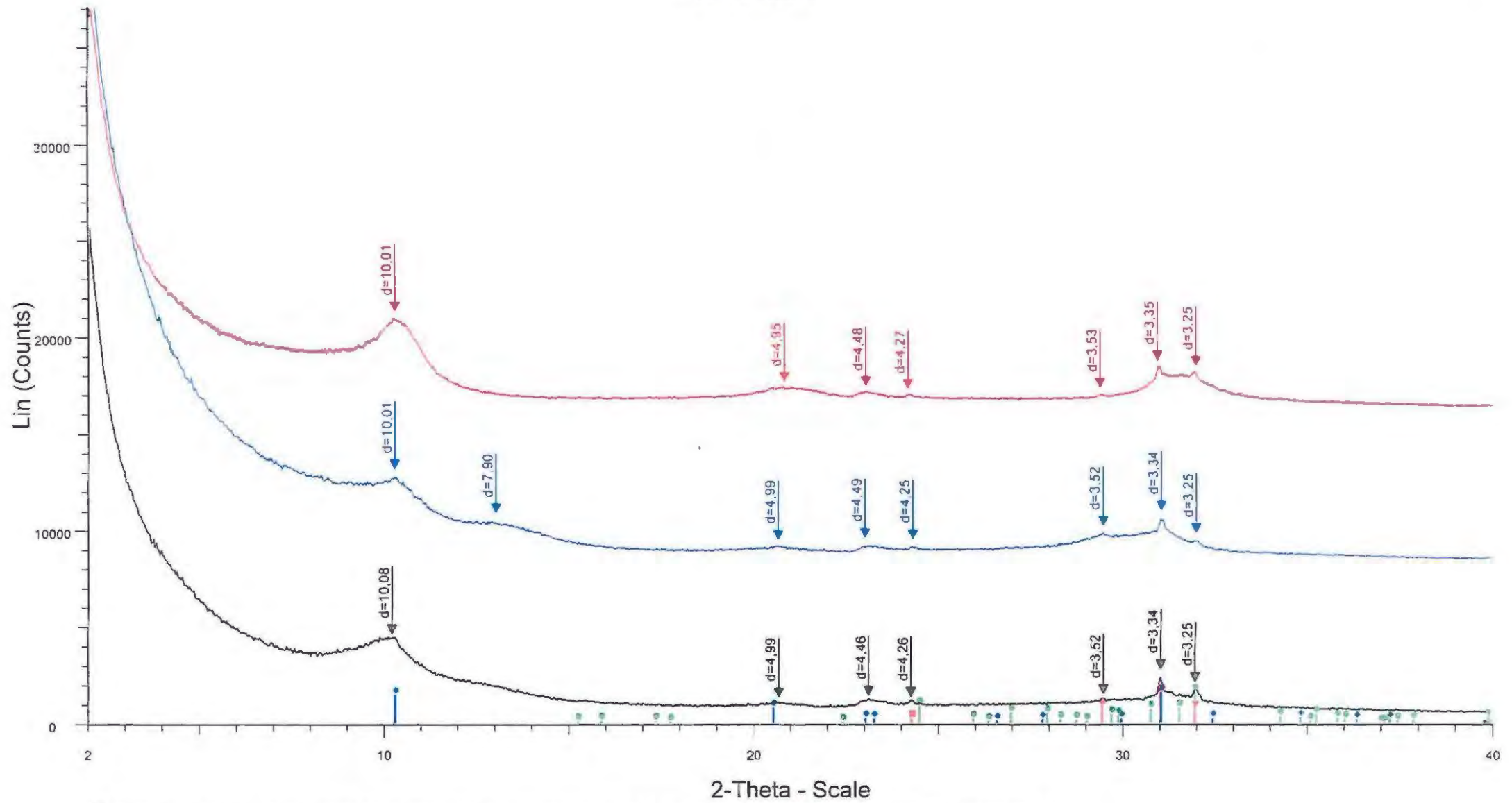
Rutile, syn - TiO_2 - 00-021-1276 (*)

Hematite, syn - Fe_2O_3 - 00-033-0664 (*)

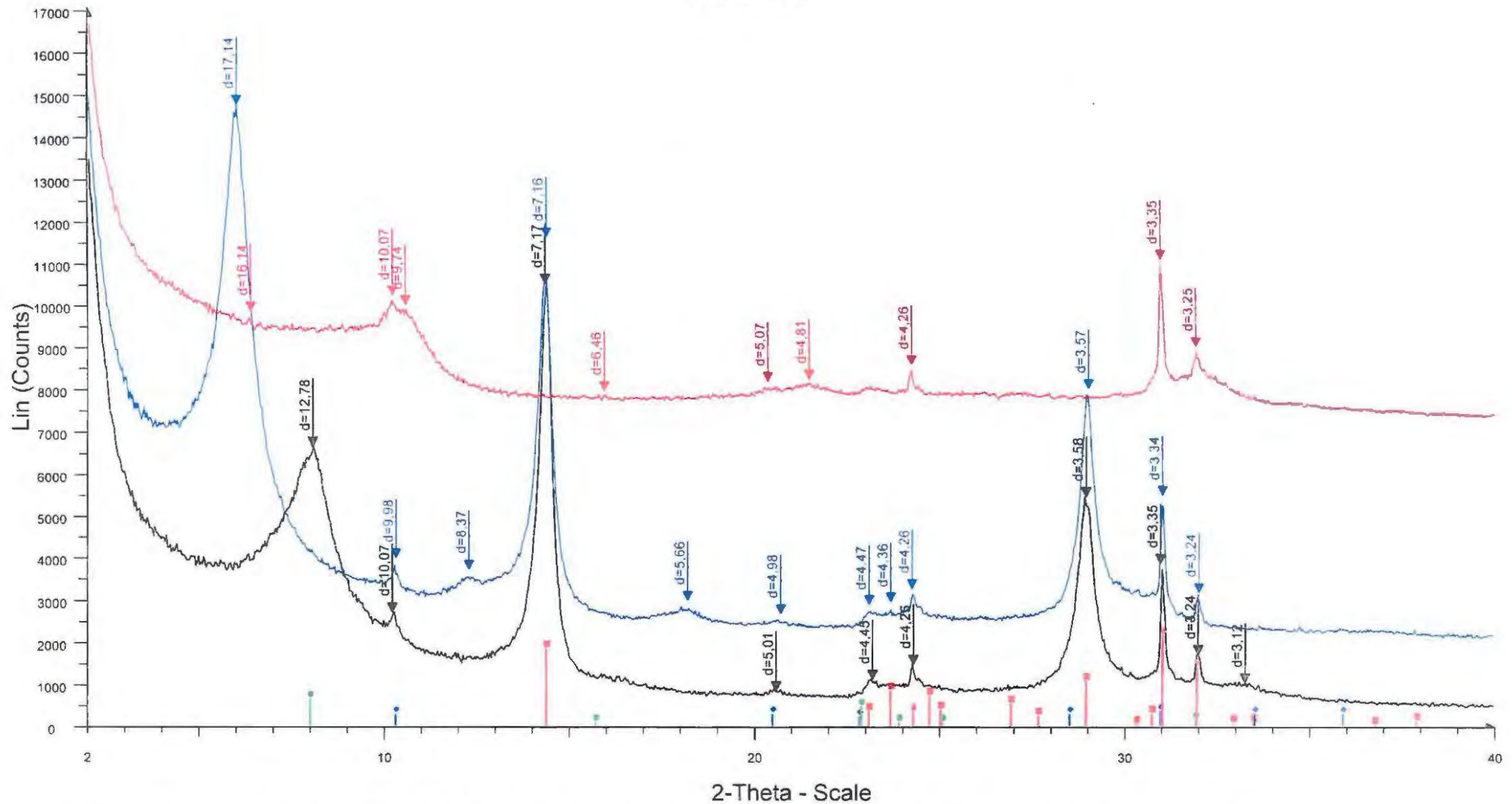
2PK14



4PK24



6MA1



File: Boulingui-16.raw - 6MA1 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creati
Operations: Import

File: Boulingui-27.raw - 6MA1 - EG - Start: 1.976 ° - End: 39.977 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - C
Operations: Displacement 0.052 | Y Scale Add 1667 | Import

File: Boulingui-43.raw - 6MA1 - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
Operations: Y Scale Add 6875 | Import

Kaolinite - $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - 01-080-0885 (C)

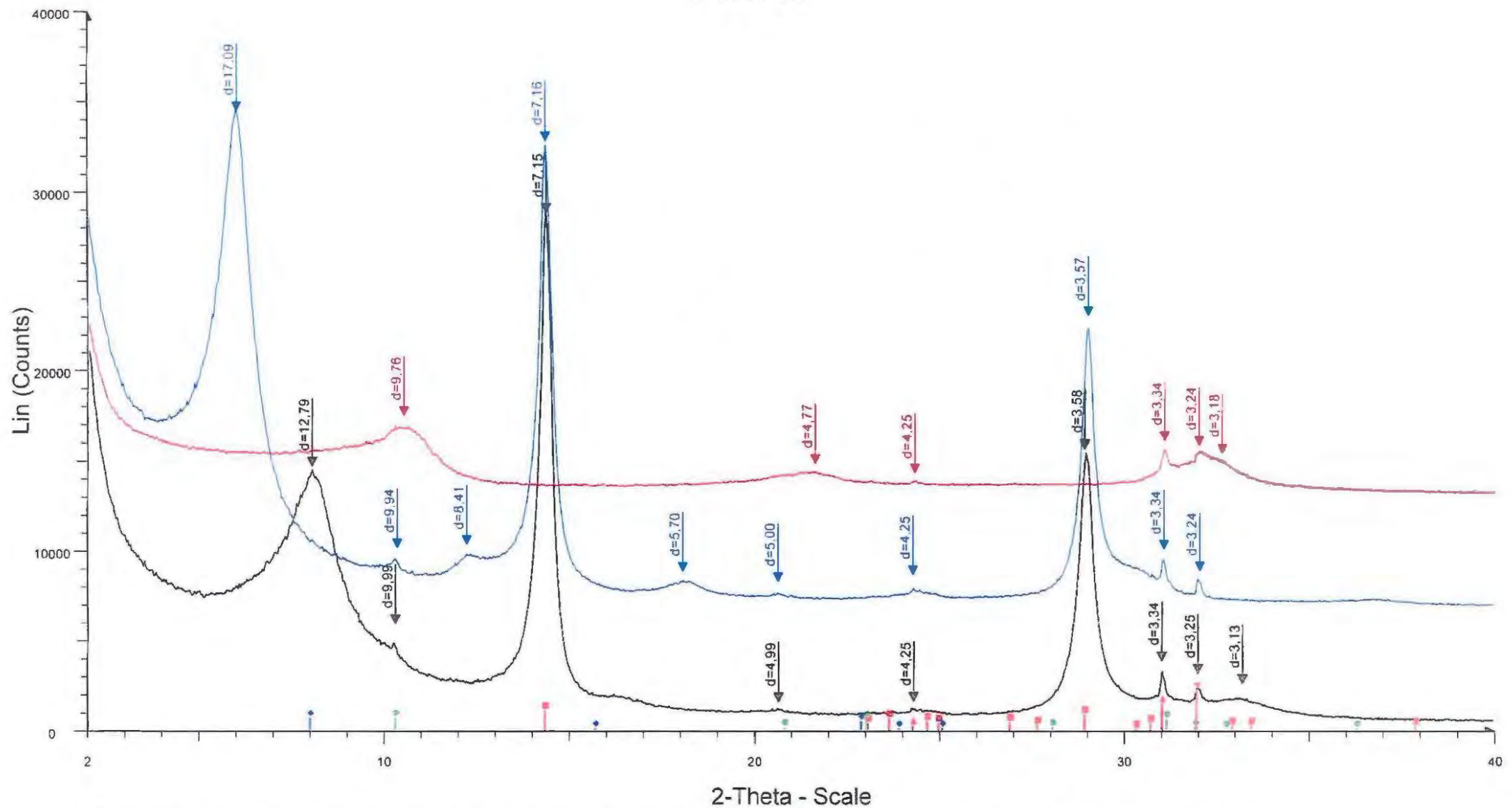
Illite, 1M - $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ - 00-002-0462 (D)

Montmorillonite - $\text{Na}_x(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ - 00-012-0204 (D)

Quartz, syn - SiO_2 - 00-046-1045 (*)

Rutile, syn - TiO_2 - 00-021-1276 (*)

7MA1



File: Boulingui-15.raw - 7MA1 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creati
Operations: Import

File: Boulingui-24.raw - 7MA1 - EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - C
Operations: Y Scale Add 3958 | Y Scale Add 2500 | Import

File: Boulingui-36.raw - 7MA1 - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
Operations: Y Scale Add 12708 | Import

Kaolinite-1A - $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ - 00-014-0164 (I)

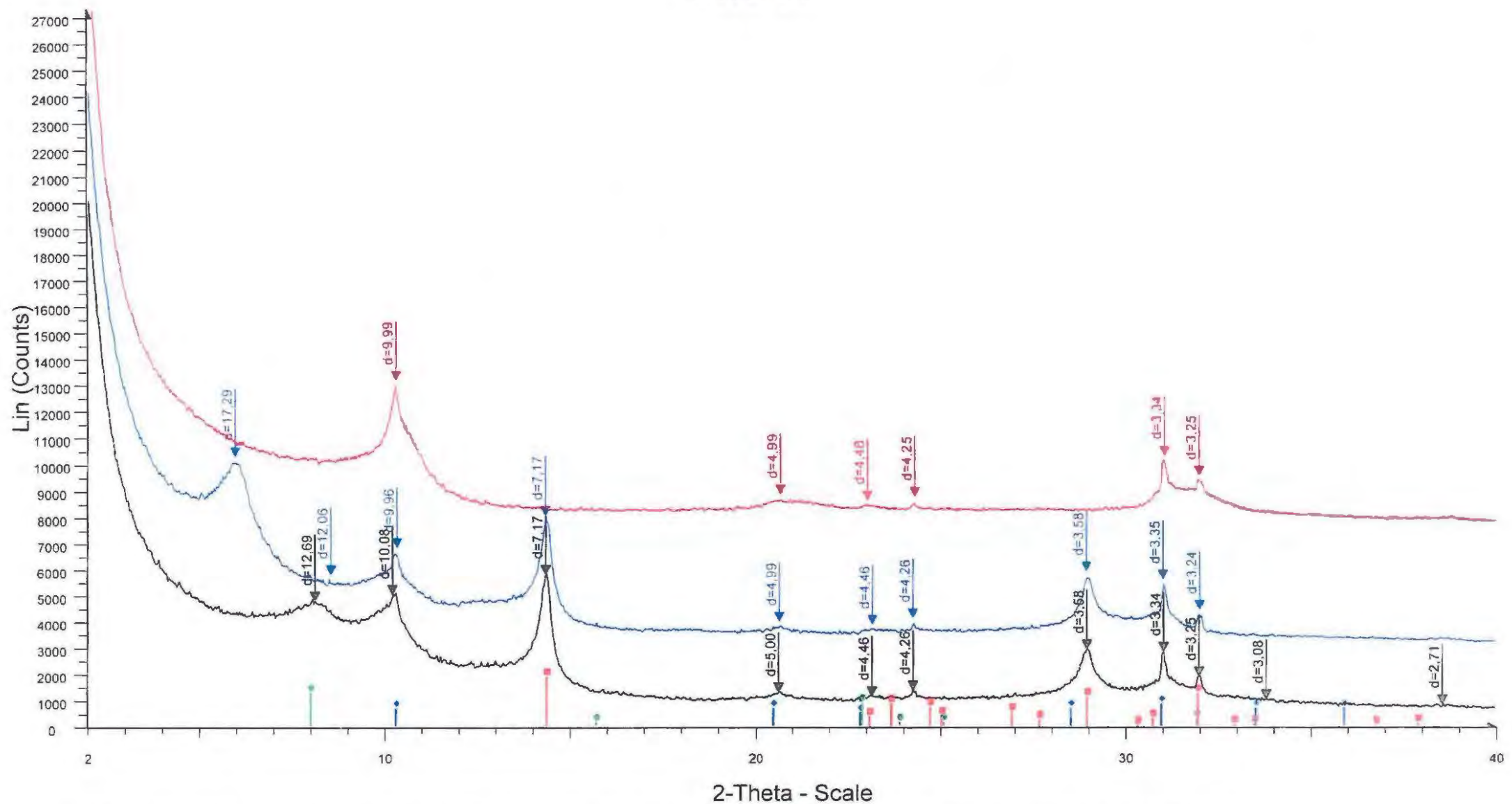
Montmorillonite - $\text{Na}_x(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ - 00-012-0204 (D)

Illite, trioctahedral - $\text{K}_{0.5}(\text{Al,Fe,Mg})_3(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ - 00-009-0343 (D)

Quartz, syn - SiO_2 - 00-046-1045 (*)

Rutile, syn - TiO_2 - 00-021-1276 (*)

8MA1



File: Boulingui-19.raw - 8MA1 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creali
 Operations: Import

File: Boulingui-37.raw - 8MA1 - EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - C
 Operations: Y Scale Add -667 | Y Scale Add 3229 | Import

File: Boulingui-41.raw - 8MA1 - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
 Operations: Y Scale Add -417 | Y Scale Add 7604 | Import

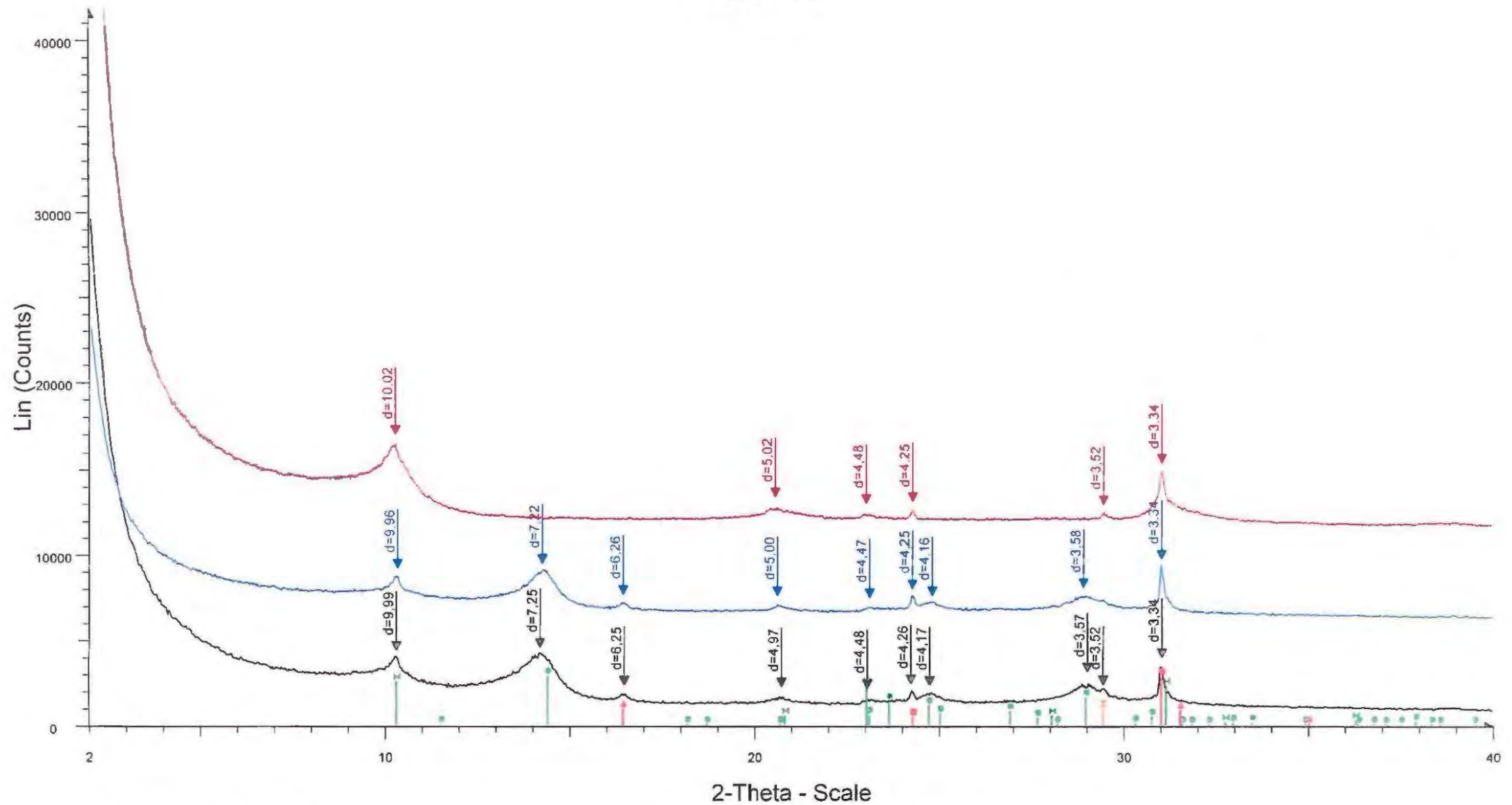
Kaolinite - $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - 01-080-0885 (C)

Illite, 1M - $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ - 00-002-0462 (D)

Montmorillonite - $\text{Na}_x(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$ - 00-012-0204 (D)

Rutile, syn - TiO_2 - 00-021-1276 (*)

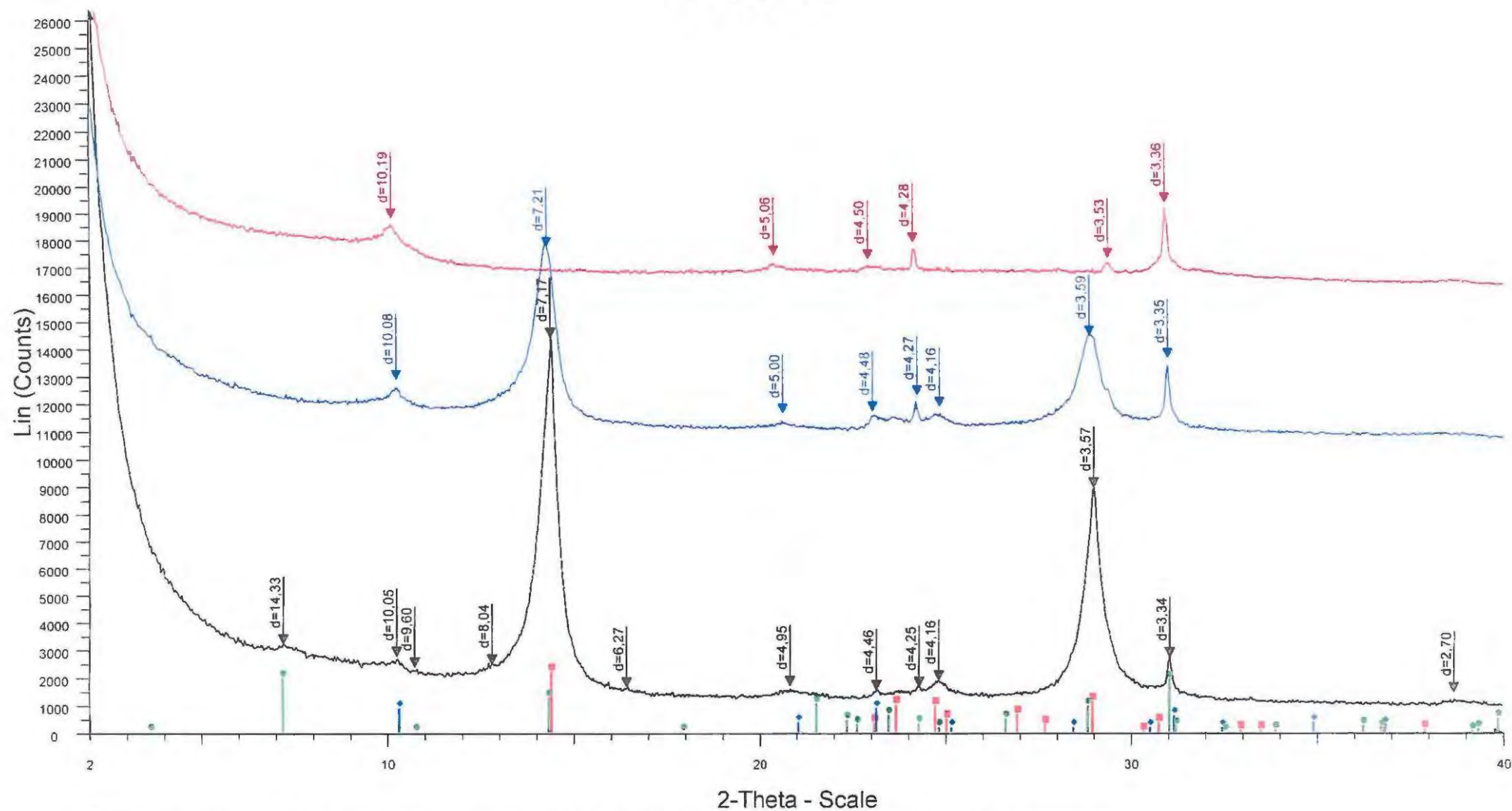
11MCO



File: Boulingui-14.raw - 11MCO - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Crea
Operations: Import
File: Boulingui-26.raw - 11MCO - EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
Operations: Y Scale Add -1146 | Y Scale Add 6667 | Import
File: Boulingui-42.raw - 11MCO - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
Operations: Y Scale Add 10521 | Import
Quartz, syn - SiO₂ - 00-046-1045 (*)
Illite, trioctahedral - K_{0.5}(Al,Fe,Mg)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂ - 00-009-0343 (D)

Kaolinite - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄ - 01-080-0886 (C)
Lepidocrocite - Fe₂O₃(OH) - 00-008-0098 (N)
Anatase, syn - TiO₂ - 00-021-1272 (*)

12MCO



File: Boulingui-21.raw - 12MCO - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Crea
Operations: Import

File: Boulingui-40.raw - 12MCO - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Crea
Operations: Y Scale Add 15625 | Import

File: Boulingui-45.raw - 12MCO - LN+EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.
Operations: Y Scale Add 313 | Y Scale Add 9792 | Import

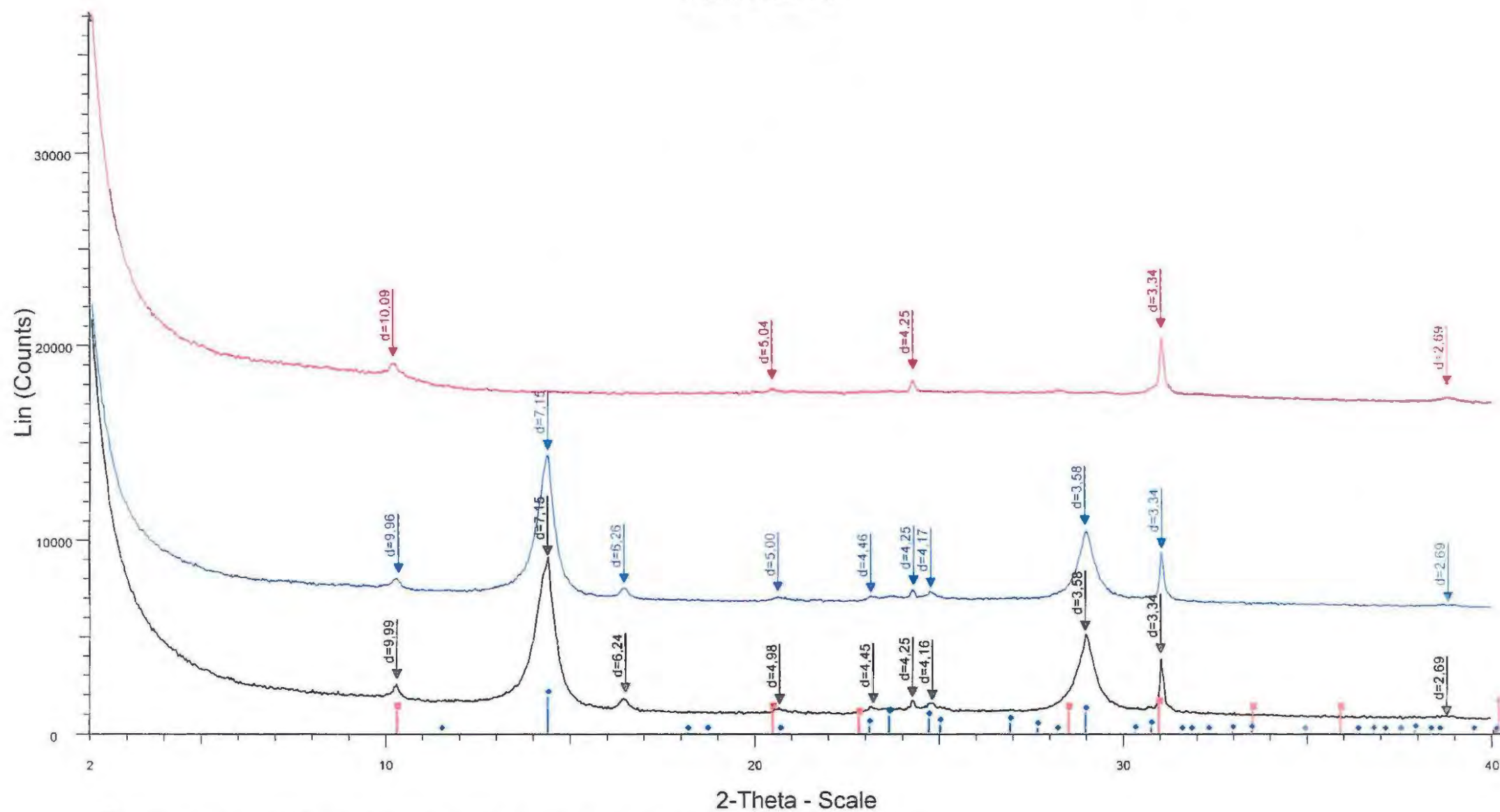
Kaolinite - $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - 01-078-1996 (C)

Illite - $2\text{K}_2\text{O} \cdot 3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 24\text{SiO}_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - 00-002-0050 (D)

Chlorite - $\text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$ - 01-073-2376 (C)

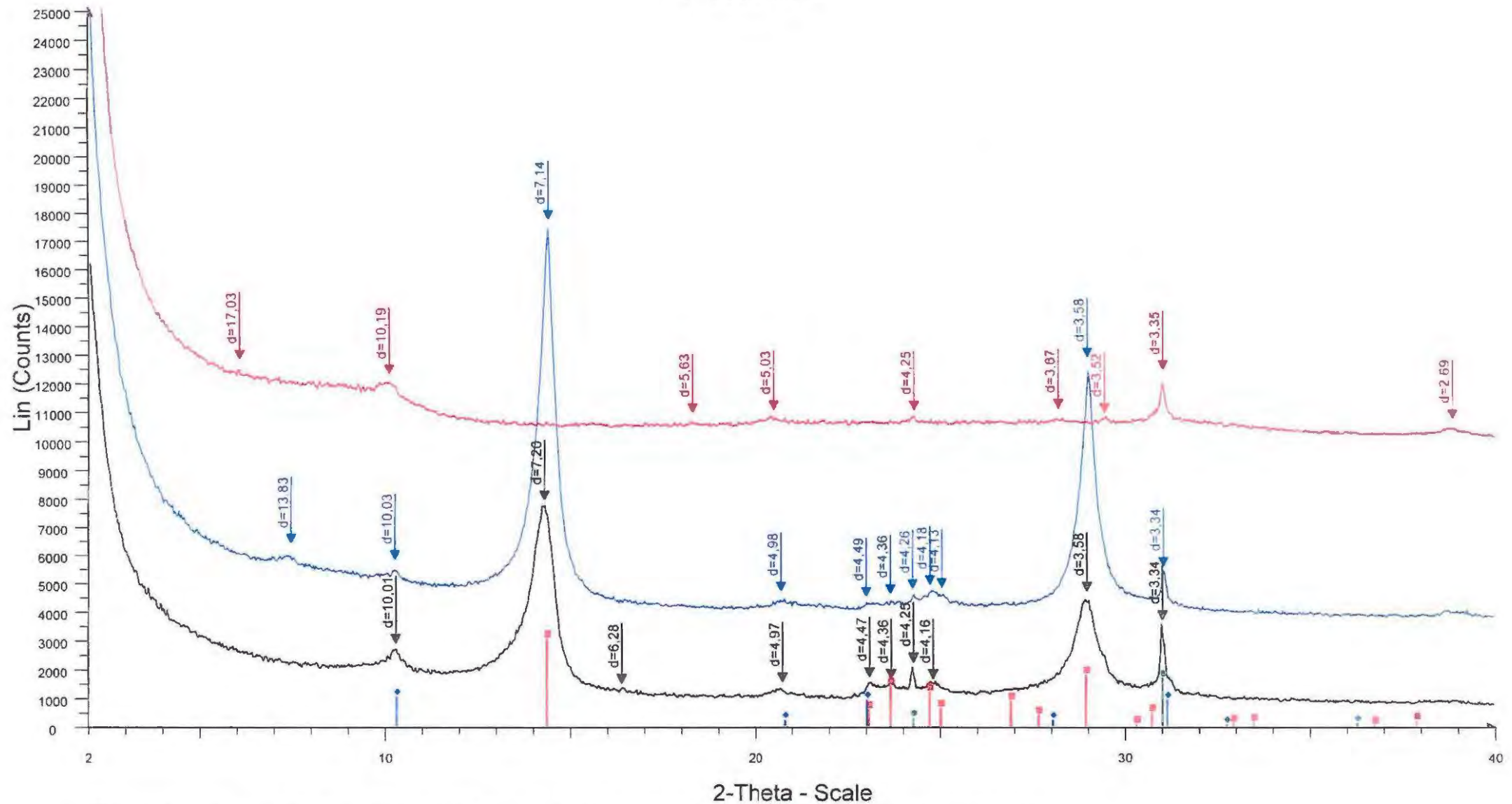
Quartz, syn - SiO_2 - 00-046-1045 (*)

13MGC

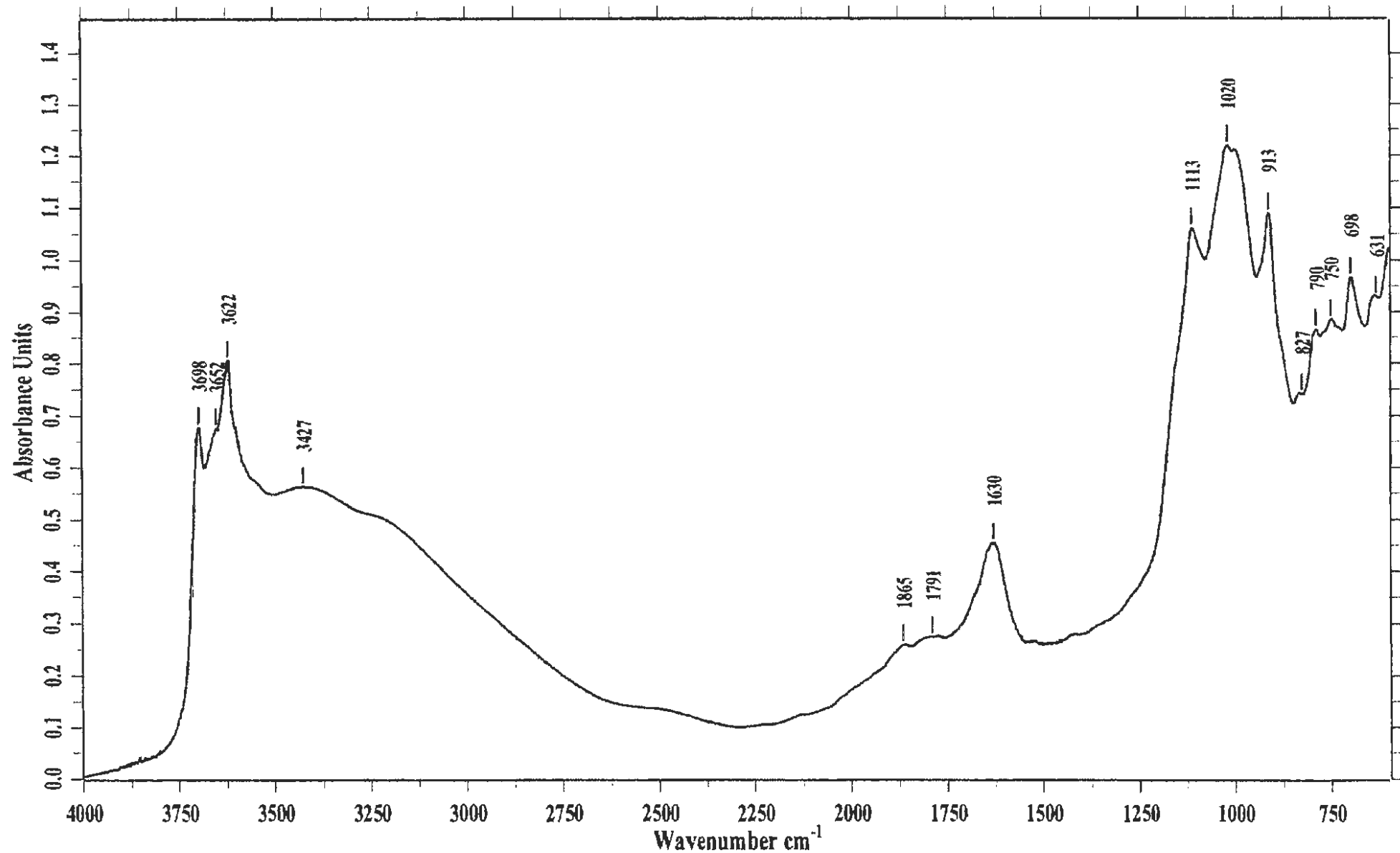


- File: Boulingui-18.raw - 13MGC - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation: 15/09/2011 14:10:14
Operations: Import
- File: Boulingui-28.raw - 13MGC - EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation: 16/09/2011 13:33:15
Operations: Y Scale Add 5833 | Import
- File: Boulingui-32.raw - 13MGC - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Creation: 16/09/2011 18:05:07
Operations: Y Scale Add 2500 | Y Scale Add 13750 | Import
- Illite, 1M - $\text{KAl}_2(\text{Si}_3\text{AlO}_{10})(\text{OH})_2$ - 00-002-0462 (D)
- Kaolinite - $\text{Al}_2(\text{Si}_2\text{O}_5)(\text{OH})_4$ - 01-080-0886 (C)

14MGC



File: Boulingui-23.raw - 14MGC - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s - Crea
 Operations: Import
 File: Boulingui-30.raw - 14MGC - EG - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
 Operations: Y Scale Add 1146 | Y Scale Add 292 | Y Scale Add -938 | Y Scale Add -417 | Y Scale Add -1
 File: Boulingui-34.raw - 14MGC - 550 - Start: 2.000 ° - End: 40.000 ° - Step: 0.035 ° - Step time: 323.9 s -
 Operations: Y Scale Add 9063 | Import
 Kaolinite - Al₂(Si₂O₅)(OH)₄ - 01-080-0885 (C)
 Illite, trioctahedral - K_{0.5}(Al,Fe,Mg)₃(Si,Al)₄O₁₀(OH)₂ - 00-009-0343 (D)

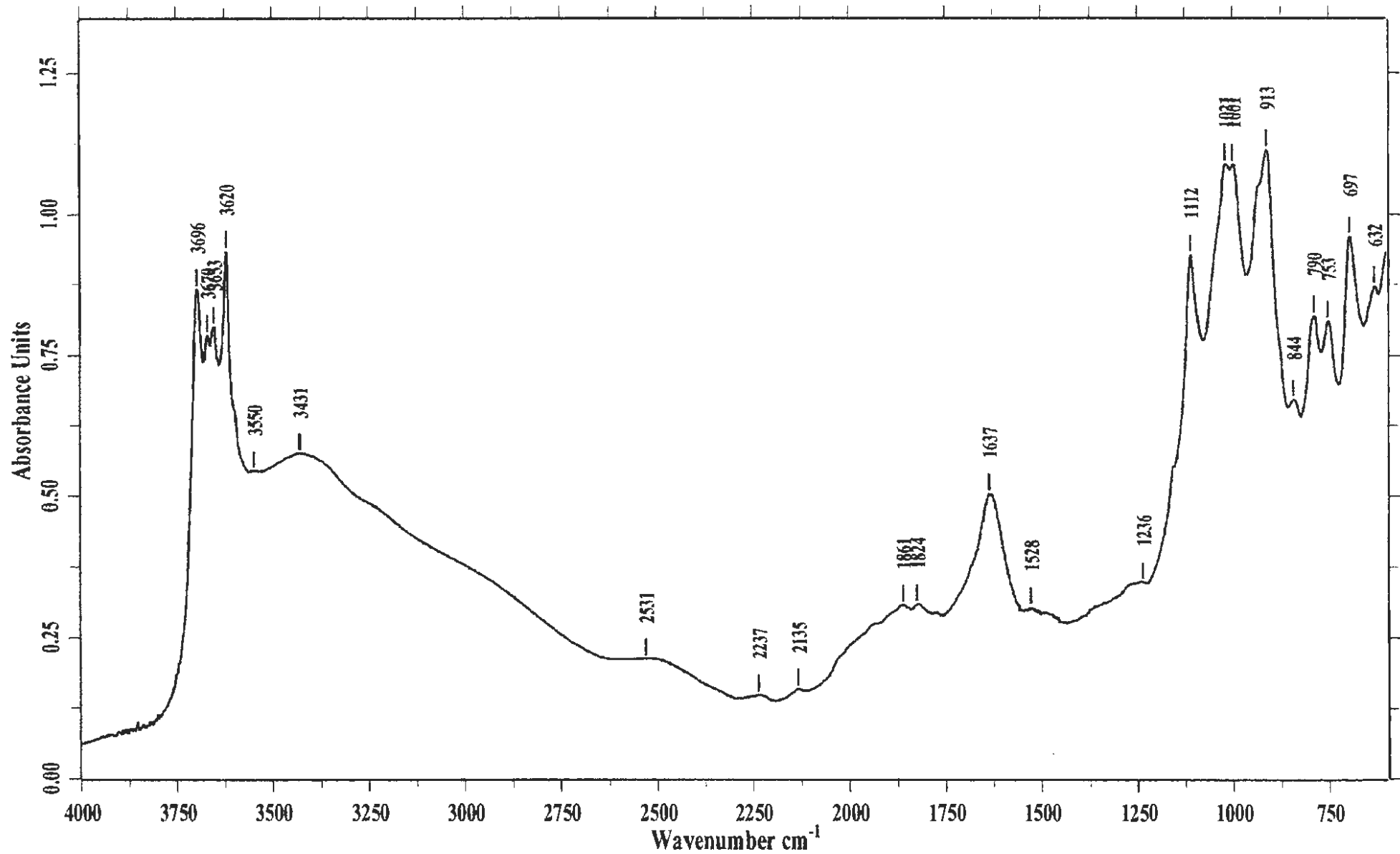


ECHANTILLON: 9MKA1

DATE: 9/ 7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB06.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0

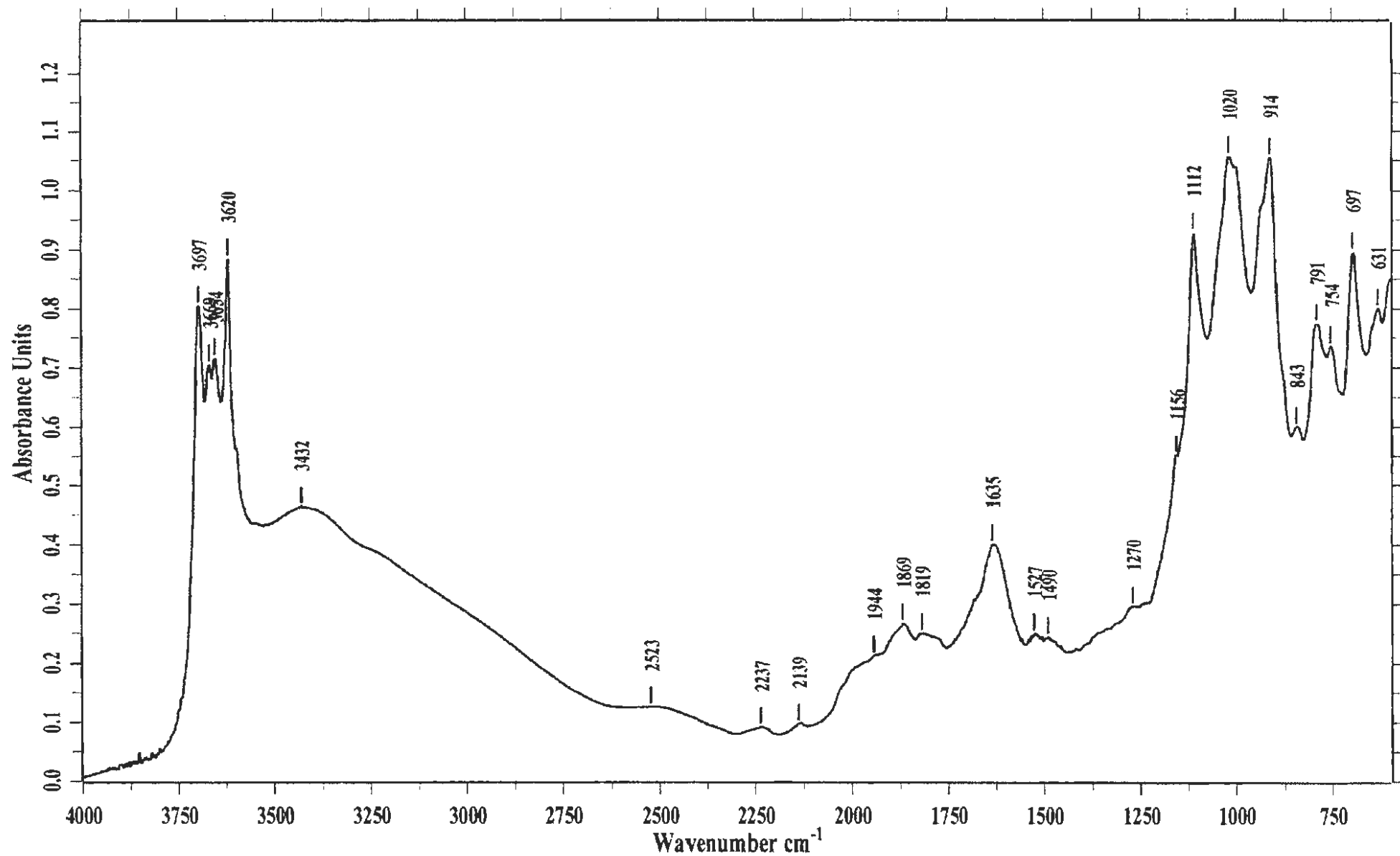


ECHANTILLON: 6MA1

DATE: 6/ 7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB01.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0

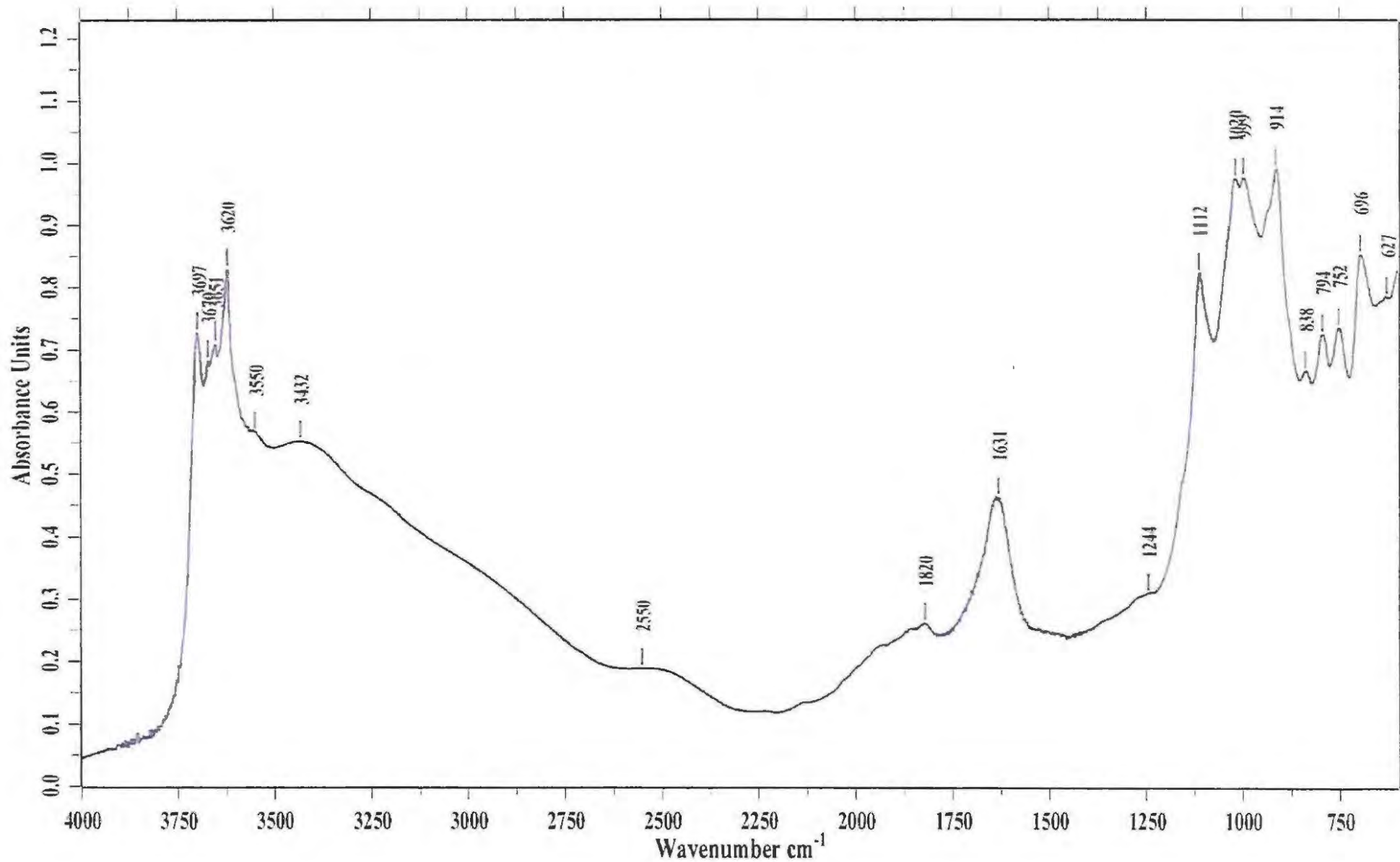


ECHANTILLON: 7MA1

DATE: 9/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB07.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0



ECHANTILLON: 8MA1

DATE: 8/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES

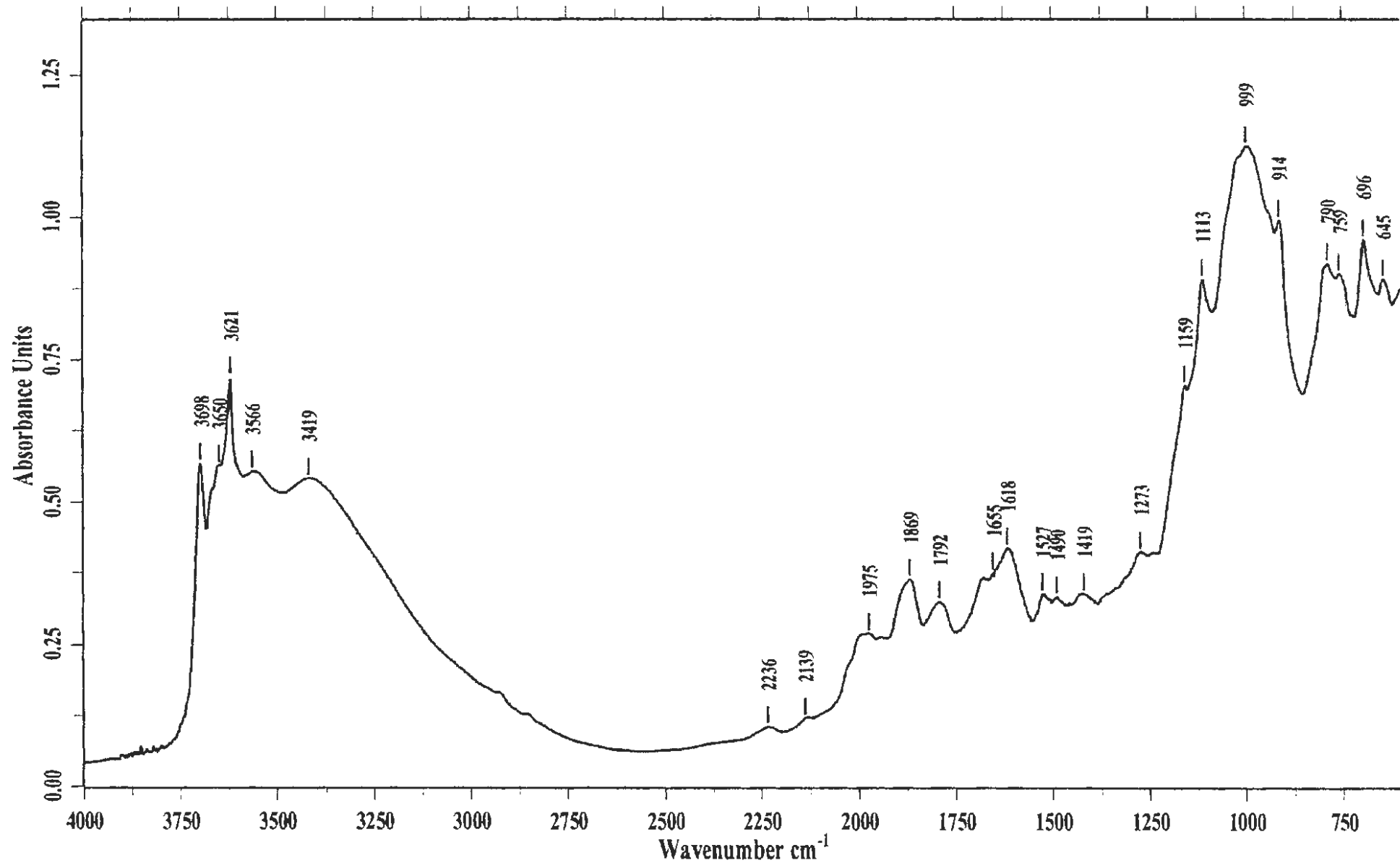
Nom du spectre: JEB03.1

MODE: Réflexion Diffuse

Nombre de scans: 200

INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Résolution: 4.0



ECHANTILLON: 10MCO

DATE: 8/ 7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES

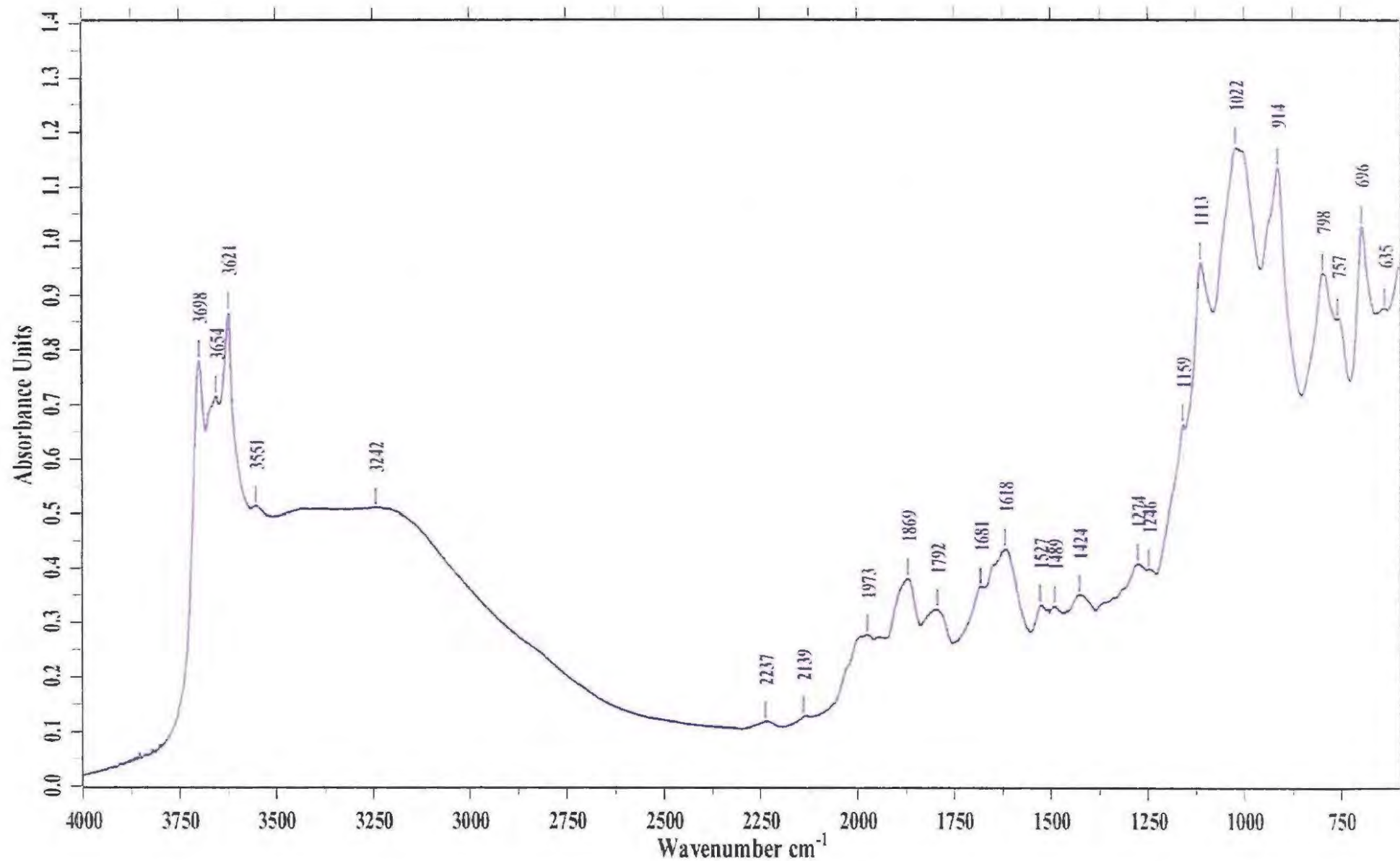
Nom du spectre: JEB05.1

MODE: Réflexion Diffuse

Nombre de scans: 200

INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Résolution: 4.0

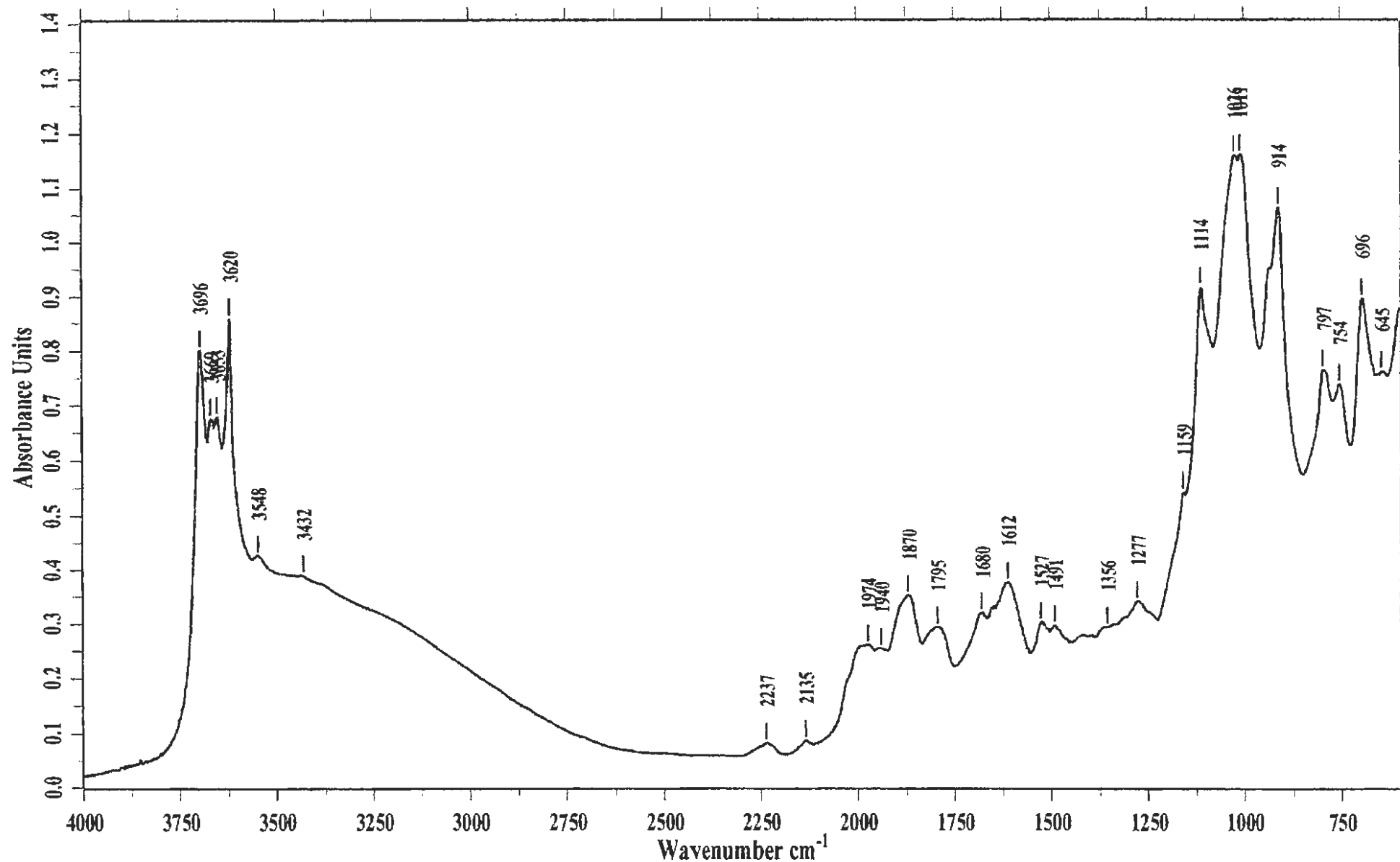


ECHANTILLON: 11MCO

DATE: 9/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB08.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0

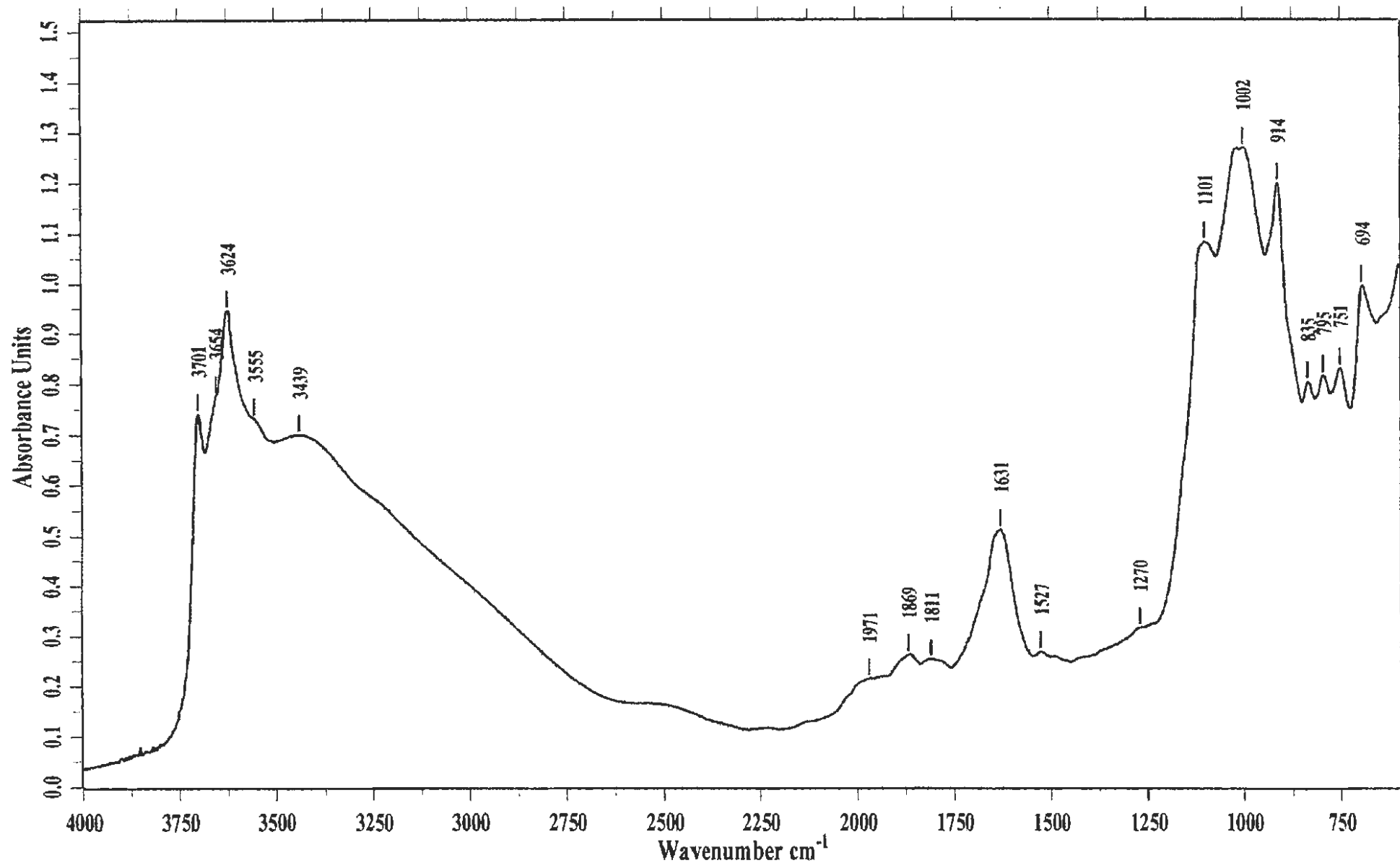


ECHANTILLON: 12MCO

DATE: 9/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB09.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0

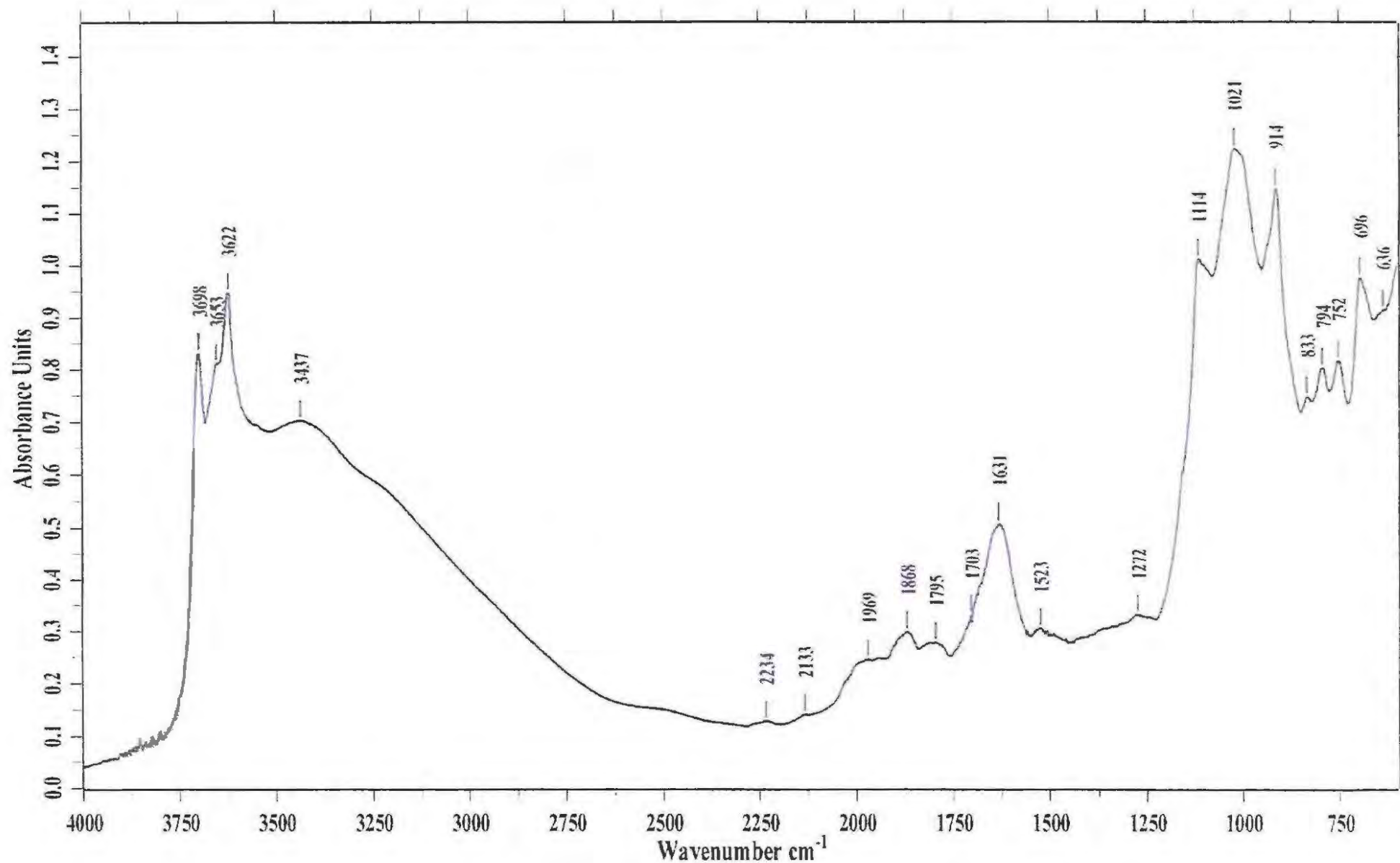


ECHANTILLON: 1PK14

DATE: 9/ 7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réfexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB13.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0



ECHANTILLON: 2PK14

DATE: 6/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES

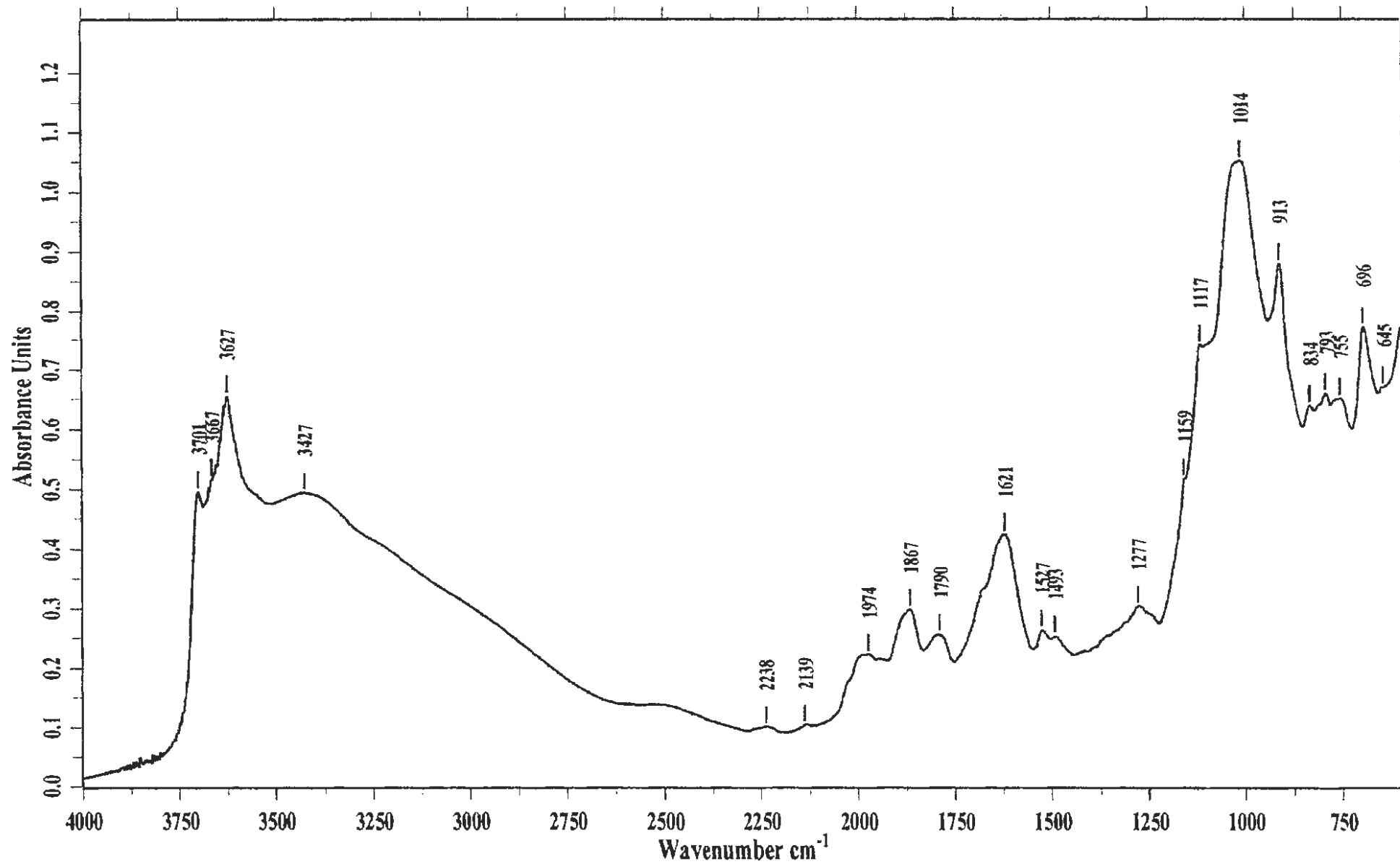
Nom du spectre: JEB02.1

MODE: Réflexion Diffuse

Nombre de scans: 200

INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Résolution: 4.0



ECHANTILLON: 4PK24

DATE: 9/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES

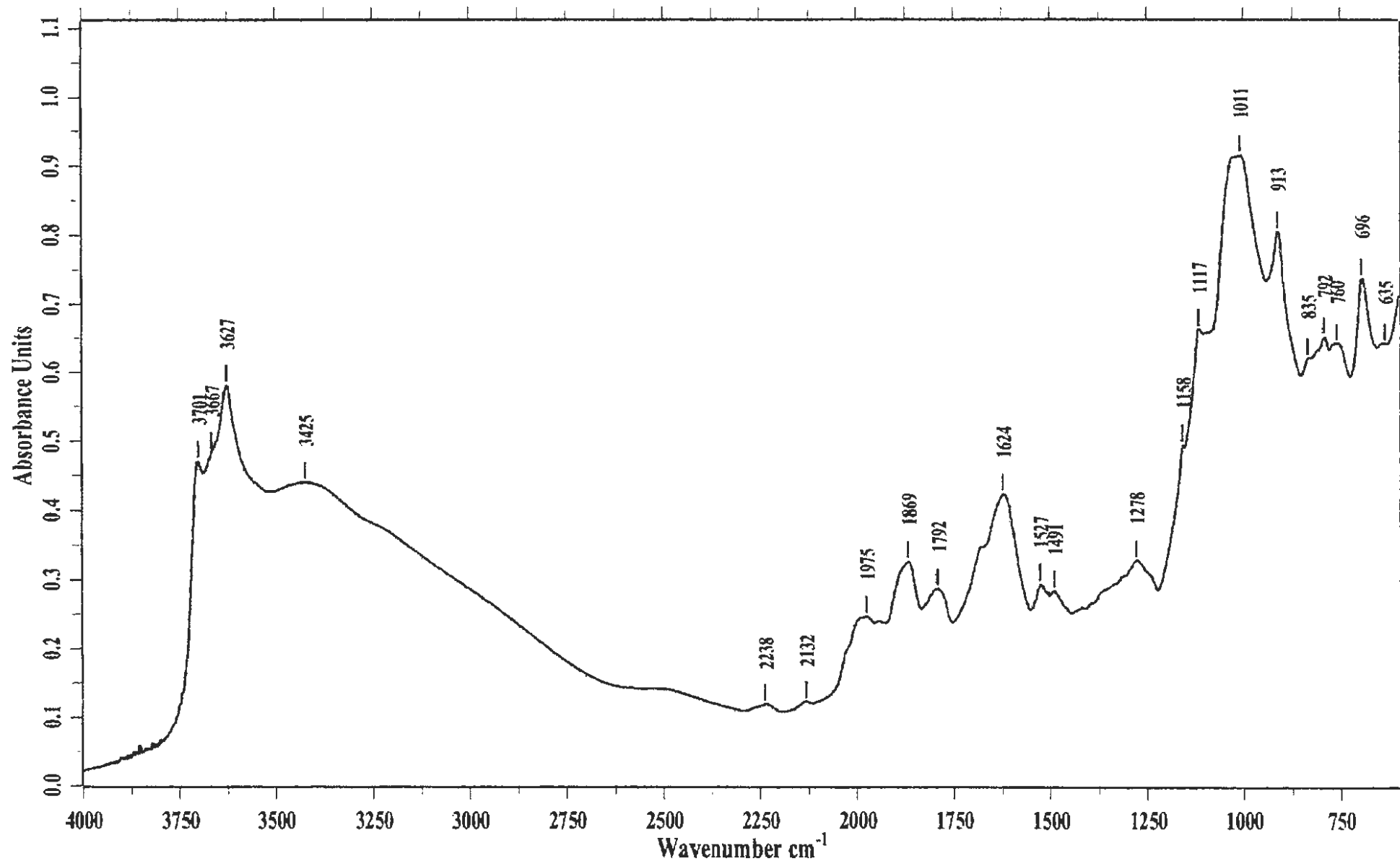
Nom du spectre: JEB11.1

MODE: Réflexion Diffuse

Nombre de scans: 200

INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Résolution: 4.0



ECHANTILLON: 5PK24

DATE: 9/ 7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES

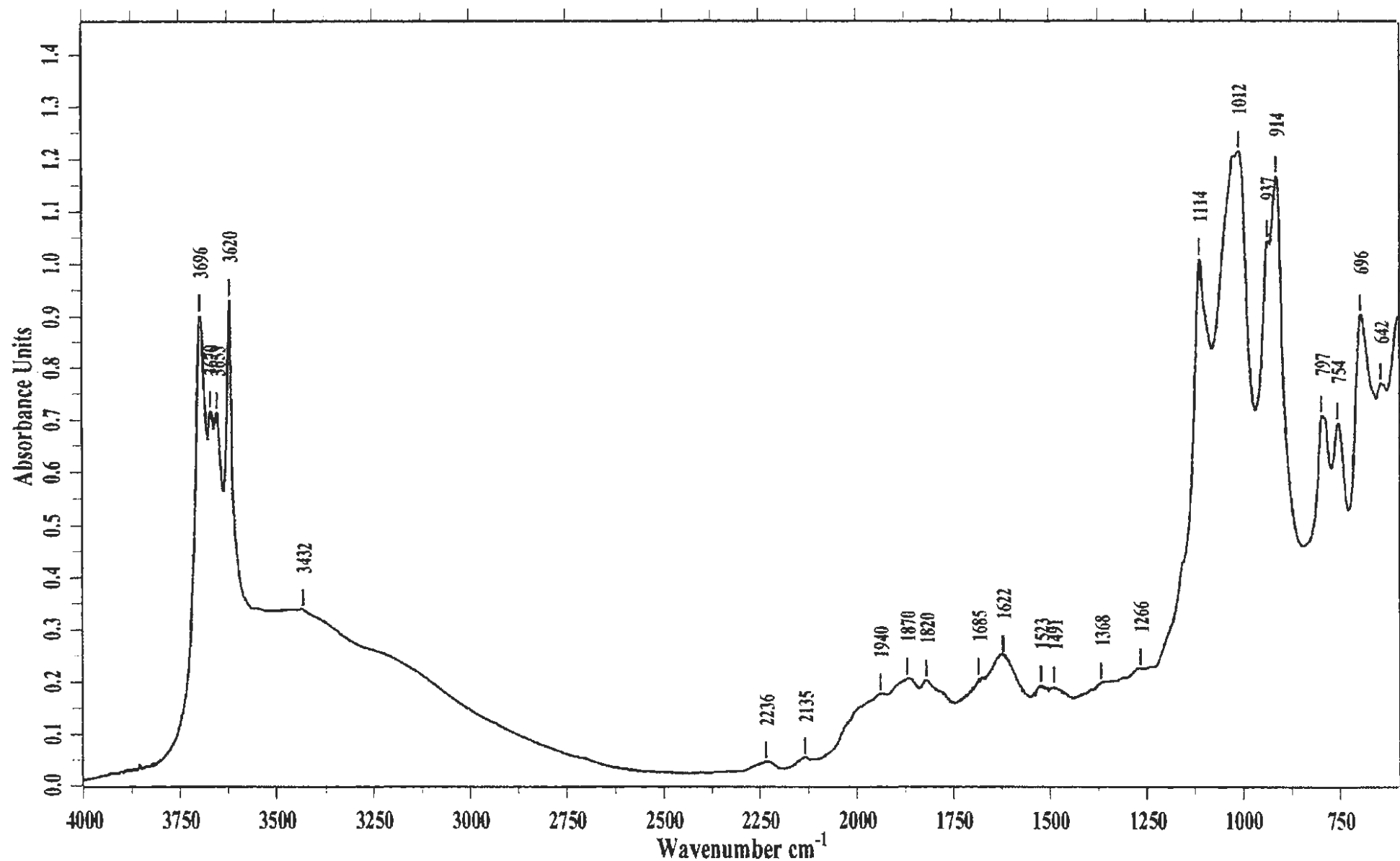
Nom du spectre: JEB12.1

MODE: Réfexion Diffuse

Nombre de scans: 200

INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Résolution: 4.0

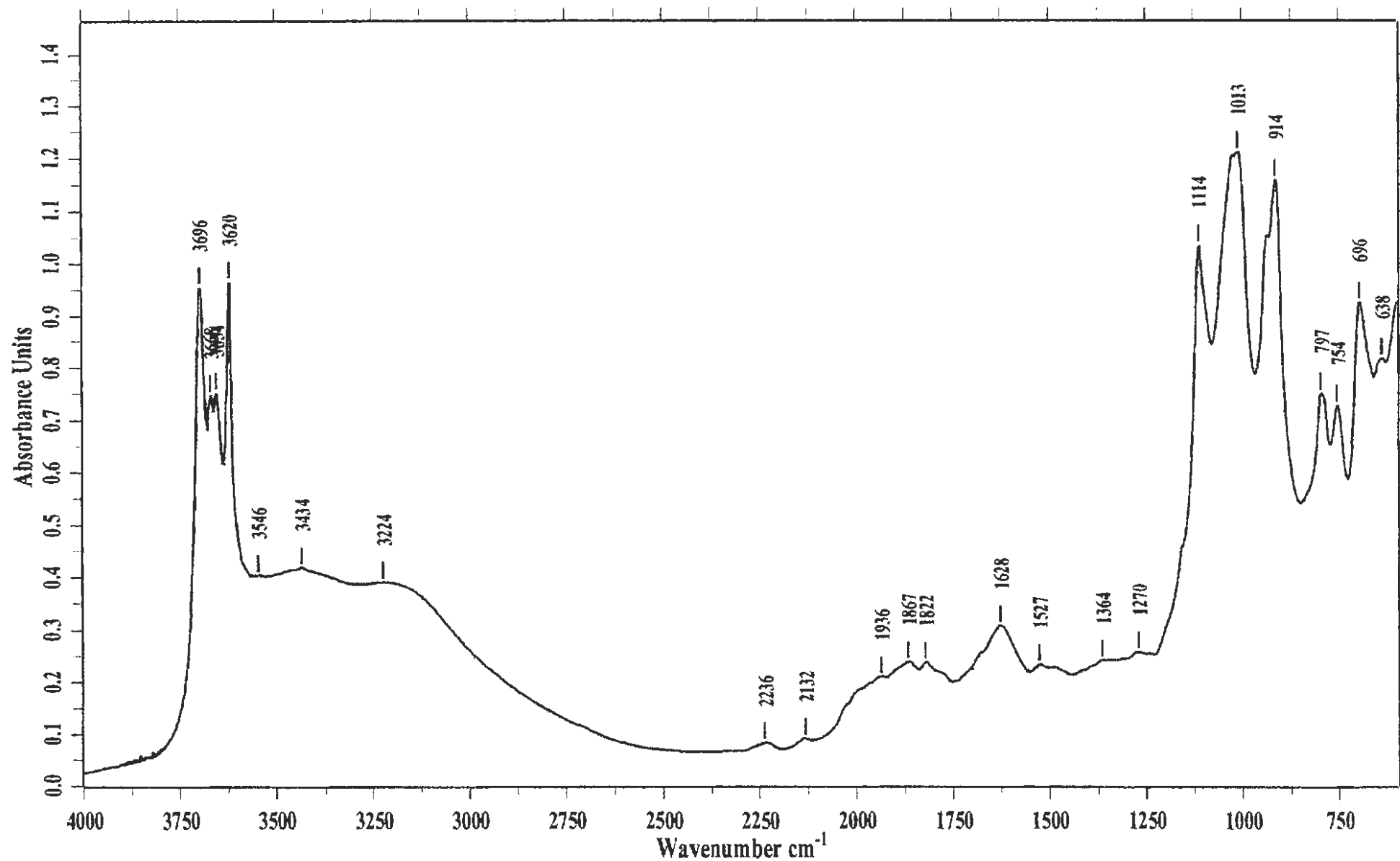


ECHANTILLON: 13MGC

DATE: 8/ 7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB04.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0



ECHANTILLON: 14MGC

DATE: 9/7/2009

OPERATEUR: Odile BARRES
MODE: Réflexion Diffuse
INSTRUMENT: BRUKER EQUINOX55

Nom du spectre: JEB10.1
Nombre de scans: 200
Résolution: 4.0