



**Interreg**



UNIONE EUROPEA

MARITTIMO-IT FR-MARITIME



# ENSABLEMENT DE PORT-GRIMAUD

Phase 1 : Analyse qualitative



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



REGIONE  
TOSCANA



Région  
Provence  
Alpes  
Côte d'Azur



REGIONE LIGURIA



CORSE  
CORSICA

La cooperazione al cuore del Mediterraneo  
La coopération au cœur de la Méditerranée

Programme co-financé par le  
Fonds Européen de Développement Régional

## Table des matières

Sintesi in italiano .....	3
Granulometria.....	3
Contenuto d'acqua.....	3
Contenuto di materia organica.....	3
Contenuti di carbonati.....	4
Diffrazione dei raggi X .....	4
Microscopio elettronico a scansione .....	4
Analisi termica differenziale e analisi termogravimetrica (ATD/TGA) .....	4
Conclusioni.....	4
Introduction .....	5
Description des matériaux .....	6
Carotte C1 .....	8
Carotte C2.....	10
Carotte C3.....	10
Carotte C4.....	14
Carotte C5.....	16
Teneurs en eau .....	18
Introduction.....	18
Résultats .....	18
Analyses granulométriques .....	20
Introduction.....	20
Résultats .....	20
Carotte C1 .....	20
Carotte C2.....	21
Carotte C3.....	22
Carotte C4.....	23
Carotte C5.....	24
Matières organiques.....	27
Introduction.....	27
Résultats .....	27
Carbonates.....	30
Introduction.....	30
Résultats .....	30
Analyse de la diffraction des rayons X (DRX).....	32
Introduction.....	32
Résultats .....	32

Microscope électronique à balayage (MEB) .....	33
Introduction.....	33
Résultats .....	33
Analyse thermique différentielle et analyse thermogravimétrique (ATD/ATG).....	35
Introduction.....	35
Résultats .....	35
Conclusions.....	37
Annexes .....	37

## Sintesi in italiano

Nell'ambito dell'attività T1.4 "Analisi dell'insabbiamento dei porti di Grimaud, Porto-Vecchio e Olbia, e proposte di soluzioni" attuata congiuntamente dall'Office des Transports de la Corse e il Département du Var, il comune di Grimaud realizza un'analisi qualitativa (fase 1, la presente relazione) e quantitativa (fase 2) del giacimento sedimentario nell'avamposto di Port-Grimaud.

Sono stati pertanto realizzati 5 carotaggi da CISMA Environnement nell'avamposto, nel canale della Giscle e davanti la spiaggia di Port-Grimaud. Al fine di determinare l'origine fluviale e/o marina del giacimento sedimentario presente nell'avamposto, l'INSA Rennes ha effettuato un'analisi per ciascun campione:

- granulometrica;
- del contenuto d'acqua, di materia organica e di carbonati;
- della diffrazione dei raggi X (DRX);
- al microscopio elettronico a scansione (MEB);
- termica differenziale e termogravimetrica (ATD/TGA).

## Granulometria

I materiali sono complessivamente sabbiosi e ghiaiosi. La parte argillosa è presente in scarsa quantità (sempre inferiore all'1%), mentre la parte limosa è presente in maniera variabile a seconda dei carotaggi e delle profondità. Essa varia tra 0,1% e 6,4%. Sono presenti molti elementi più grossolani (ghiaia, da 2 a 20 mm) in diversi campioni dei carotaggi C3, C4 e C5.

## Contenuto d'acqua

I valori misurati sono del 20% per i carotaggi C1, C4 e C5. Il contenuto d'acqua è nettamente maggiore per il carotaggio C3, in particolare a partire da 60 cm di profondità, nella parte melmosa. Questa zona di deposito sembra corrispondere a una zona di grande accumulo di materia organica rispetto agli altri profili prelevati.

## Contenuto di materia organica

I valori ottenuti sono complessivamente bassi (escluso C3) per i sedimenti. Il contenuto di materia organica è infatti sistematicamente inferiore all'1,1% per i campioni dei carotaggi C2, C4 e C5. Per il carotaggio C1, i valori sono leggermente più elevati (3,4% e 6,9%) tra 30 e 50 cm di profondità. Questi valori corrispondono a sedimenti complessivamente limosi/sabbiosi, scarsamente melmosi. Solo il profilo C3 mostra contenuti di materia organica elevati, caratteristici della melma.

Le misure di MO sono ben correlati con le misure del contenuto di acqua: i contenuti di acqua più bassi misurati corrispondono ai valori più bassi di contenuti di materia organica. Al contrario, i materiali con grande contenuto di acqua (C3) corrispondono a quelli che presentano un contenuto maggiore di MO.

Sembra quindi che la posizione del carotaggio C3 corrisponda a una zona di accumulo di materia organica preferenziale. C1, situato più a valle, presenta contenuti di materia organica più bassi. C5, a monte nella Giscle, presenta contenuti di materia organica molto bassi, allo stesso modo di C4, situato sulla spiaggia in zona "marittima".

Possiamo supporre che la materia organica viene trasportata dalla Giscle e depositata presso l'interfaccia del dominio fluviale-marittimo, nella zona del carotaggio C3 (Figura 2). Questo è conforme all'ipotesi di un deposito di materiali fini che provengono dalla Giscle, come quella formulata in seguito all'analisi delle misure granulometriche.

## Contenuti di carbonati

I valori ottenuti sono complessivamente bassi per i sedimenti marini o fluviali-marini. I valori più elevati sono misurati per i materiali dei carotaggi C1 e C3. Il contenuto di carbonati misurati nei sedimenti è spesso principalmente legato alla presenza di elementi conchigliiferi, derivati dall'ambiente marino. I bassi contenuti misurati qui sembrano indicare che i sedimenti sono principalmente di origine terrigena.

## Diffrazione dei raggi X

La composizione mineralogica globale non mostra alcuna differenza significativa tra i diversi domini (fluviale, marittimo, deposito sedimentario). Per contro, le osservazioni e micro analisi al microscopio elettronico a scansione hanno mostrato che nel deposito sedimentario si trovano elementi (argilla, ossidi di ferro) provenienti principalmente dal dominio fluviale e per alcuni (ossidi di ferro) assenti dal dominio marittimo.

## Microscopio elettronico a scansione

Troviamo principalmente le seguenti specie chimiche: alluminio, ferro, silicio e potassio. Questi elementi corrispondono ai materiali individuati da DRX (quarzo, muscovite, clorite e goethite). Troviamo sotto forma di tracce lo zolfo, il sodio, il cloro, il magnesio, il calcio e il titanio. Questi elementi corrispondono a dei sali (cloruro di sodio, cloruro di calcio e cloruro di magnesio), alla brookite (titanio), ai solfuri ferrosi (piriti).

## Analisi termica differenziale e analisi termogravimetrica (ATD/TGA)

Si notano differenze significative tra le perdite di massa misurate a bassa temperatura (25-200°C) per i diversi prelievi. Siccome i campioni sono preparati in maniera identica, questa differenza è da imputare a un elemento diverso dalla perdita d'acqua igroscopica. Per i campioni derivanti dal carotaggio C3, i valori elevati possono essere attribuiti alla presenza di materia organica in quantità maggiore rispetto agli altri prelievi come misurato in precedenza.

La seconda perdita di massa, misurata tra 300 e 950°C, è, quindi, principalmente associata alla presenza di minerali argillosi di tipo clorite. Il prelievo con una maggiore perdita di massa (C1-0,60 m) corrisponde a un campione contenente un'elevata percentuale di argilla di tipo clorite.

## Conclusioni

Tutte le analisi (contenuto d'acqua, di materia organica, analisi granulometriche, analisi MEB) concordano e indicano che il deposito sedimentario situato nell'interfaccia del dominio fluviale-marittimo è una zona di accumulo di elementi sottili e organici, trasportati dal fiume "La Giscle" e proveniente quindi essenzialmente dal dominio fluviale.

## Introduction

À la demande du bureau d'étude CISMA Environnement, des essais de caractérisation ont été réalisés par l'INSA Rennes sur des matériaux naturels prélevés à port Grimaud, au niveau de l'embouchure de la Giscle (Figure 1). L'objectif est de caractériser le dépôt sédimentaire présent à l'entrée du port, et de comparer les sédiments déposés à ceux présents en amont, dans la Giscle (domaine fluvial) et ceux présents à proximité (domaine maritime).



Figure 1 - Plan de situation

Les matériaux ont été prélevés par carottage par le bureau d'étude CISMA Environnement au cours de deux campagnes différentes. Les prélèvements de la première campagne ont été livrés non remaniés au laboratoire sous gaine plastique, de 5 cm environ de diamètre.

Les prélèvements de la seconde campagne ont été livrés remaniés en sac étanche. La seconde campagne a été réalisée après dragage d'une partie du dépôt sédimentaire. La cote de prélèvement pour cette campagne est indiquée par rapport à la hauteur sédimentaire avant dragage.

## Description des matériaux

Les prélèvements pour analyse ont été réalisés dans cinq carottages, référencés C1 à C5 dont les emplacements sont précisés Figure 2. Trois carottages ont été réalisés dans le dépôt sédimentaire (C1, C2, C3), un carottage a été réalisé en domaine maritime sur une plage à proximité du port (C4) et un dernier carottage a été réalisé en domaine fluvial, dans la Giscle (C5).

La première campagne (2 et 3 janvier 2017) a permis de prélever des carottes de matériaux non remanié depuis la surface des sédiments jusqu'à une profondeur de 1 à 2 m suivant les carottages. Il est à noter qu'au cours de cette première campagne aucune carotte de sédiment n'a été prélevée dans le carottage C2.

Les prélèvements de la seconde campagne (29 mars 2017) ont été réalisés après dragage au droit des carottages C2 et C3 seulement. Seuls des prélèvements remaniés ont été effectués au cours de cette campagne.

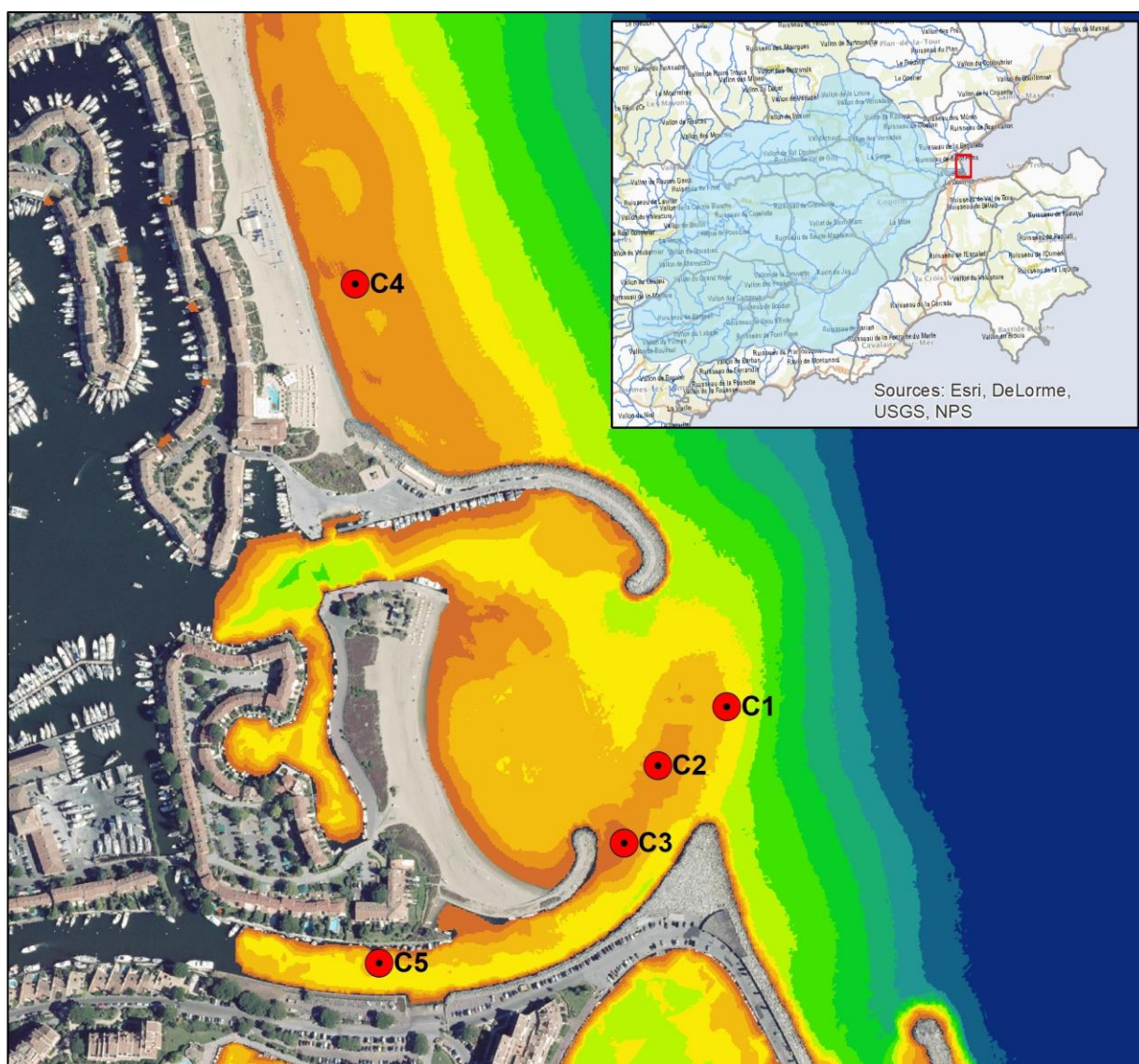


Figure 2 - Plan d'implantation des sondages

La description globale des matériaux, leur référence et le type d'essais réalisés sur chacune des carottes sont donnés dans le Tableau 1.

Tableau 1 - Référence et type d'essais par carotte

Référence	Campagne	Profondeur	Description	Essais réalisés
C1	1 <sup>ère</sup>	0,00 m - 0,65m	Sable marron à marron foncé, très fin à fin et des matières organiques noires	3 DRX, 3 MEB, 3 ATG, 3 granulos, 3 teneurs en matière organique, 3 teneurs en carbonate de calcium, 9 teneurs en eau, 3 poids volumique
		0,65 m - 1,30 m	Sable marron clair, fin, homogène	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 1 granulo, 1 teneur en matière organique, 1 teneur en carbonate de calcium, 3 teneurs en eau, 1 poids volumique
C2	2 <sup>ème</sup>	> 2 m	Sable fin, gris à noir	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 1 granulo, 1 teneur en matière organique, 1 teneur en carbonate de calcium, 1 teneur en eau
C3	1 <sup>ère</sup>	0,00 m - 0,50 m	Sable marron à gris, très fin à grossier, couche de matière organique noire	2 DRX, 2 MEB, 2 ATG, 4 granulos, 4 teneurs en matière organique, 4 teneurs en carbonate de calcium, 4 teneurs en eau, 4 poids volumique
		0,50 m - 1,00 m	Sable gris clair à noir, vase noire, débris végétaux	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 4 granulos, 4 teneurs en matière organique, 4 teneurs en carbonate de calcium, 5 teneurs en eau, 5 poids volumique
	2 <sup>ème</sup>	> 1,8 m	Sable fin, gris à noir	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 2 granulos, 2 teneurs en matière organique, 2 teneurs en carbonate de calcium, 2 teneurs en eau
C4	1 <sup>ère</sup>	0,00 m - 0,50 m	Sable marron, fin, homogène	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 1 granulo, 1 teneur en matière organique, 1 teneur en carbonate de calcium, 7 teneurs en eau, 1 poids volumique
		0,50 m - 1,00 m	Sable marron à gris, fin à grossier	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 3 granulos, 3 teneurs en matière organique, 3 teneurs en carbonate de calcium, 8 teneurs en eau, 3 poids volumique
		0,00 m - 1,00 m (compacté)	Sable marron à gris, fin à moyen, traces noires de matières végétales.	-
C5	1 <sup>ère</sup>	0,00 m - 0,20 m	Sable gris, fin à moyen	-
		0,00 m - 1,00 m	Sable marron et gris/jaune, fin à grossier, une couche de vase grise à noire	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 3 granulométries, 3 teneurs en matière organique, 3 teneurs en carbonate de calcium, 9 teneurs en eau, 3 poids volumique
		0,00 m - 1,00 m (Compacté)	Sable moyen, une couche de 1cm environ de vase noire	-
		1,00 m - 2,00 m (compacté)	Sable marron clair à gris foncé, fin à très grossier, vase noire avec des matières végétales	1 DRX, 1 MEB, 1 ATG, 3 granulométries, 3 teneurs en matière organique, 3 teneurs en carbonate de calcium, 9 teneurs en eau, 3 poids volumique



Des photos globales des carottes ainsi que les essais réalisés sont donnés Figure 3 à Figure 15.

## Carotte C1

Les formations rencontrées dans la carotte « C1 0,00m - 0,65m » suivant la profondeur sont :

- de 0,00 à 0,13 m : sable fin de couleur marron (0 à 0,10 m) à marron foncé (0,10 m et 0,13 m) ;
- de 0,13 à 0,27 m : alternances de sable fin marron foncé et de matériau organique noir ;
- de 0,27 à 0,29 m : alternances de sable marron très fin (d'épaisseur 2 à 3 cm) et de matériau organique noir (5 mm d'épaisseur environ) ;
- de 0,29 à 0,36 m : alternances millimétriques de sable très fin, marron foncé et matériau organique noir ;
- de 0,36 à 0,39 m : sable marron foncé, fin ;
- de 0,39 à 0,43 m : alternances de sable marron foncé très fin et de matériau organique noir ;
- de 0,43 à 0,51 m : alternances de sable marron très fin et de matériau organique noir (épaisseur  $\approx$  5 mm), présence de débris végétaux.

La Figure 3 présente une vue globale de la carotte « C1 0,00 m à 0,65 m » et les essais réalisés.

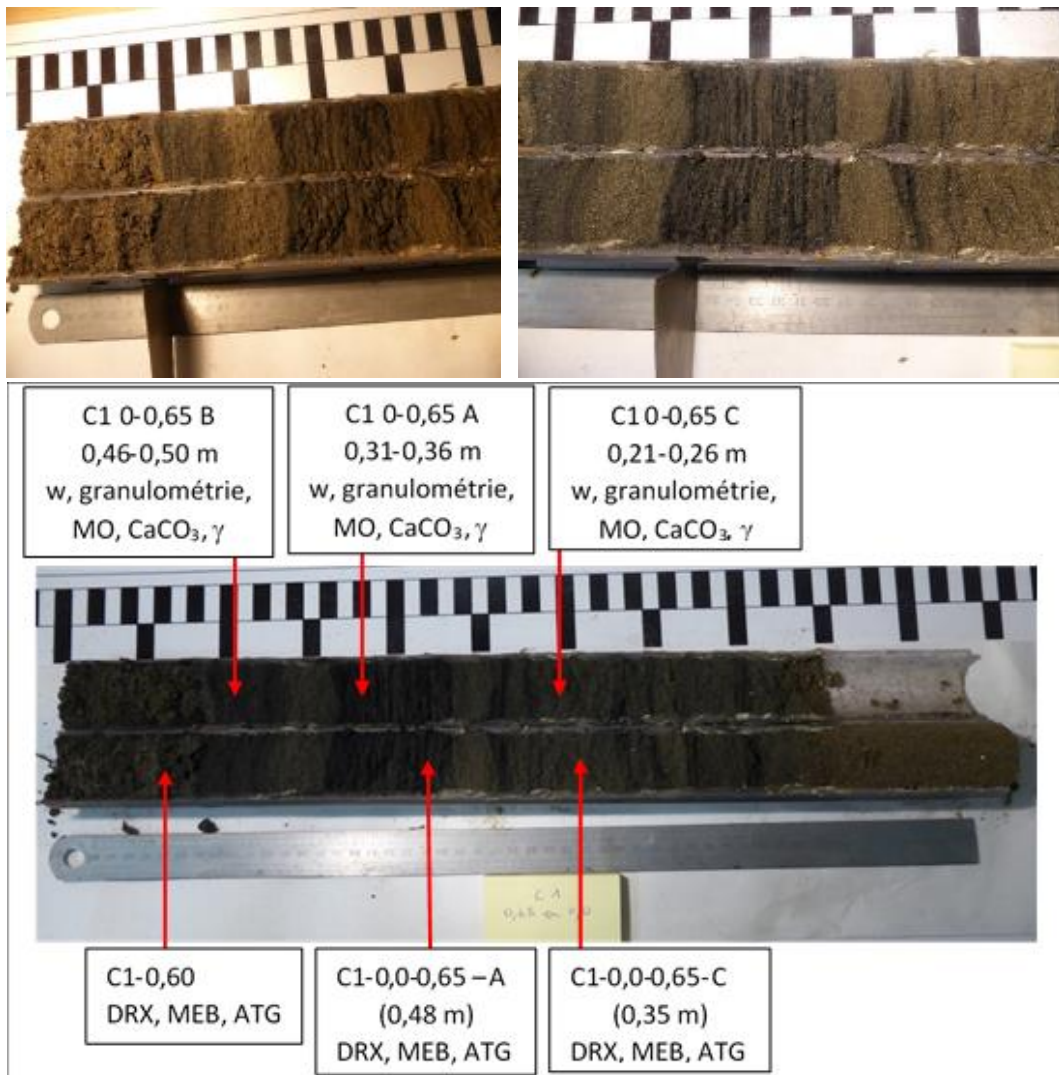


Figure 3 - Vue globale de la carotte C1 0,00 m à 0,65 m

La carotte « C1 0,65 m à 1,30 m » est constituée de sable fin, de couleur marron, homogène. La Figure 4 présente une vue globale de la carotte et les essais réalisés.

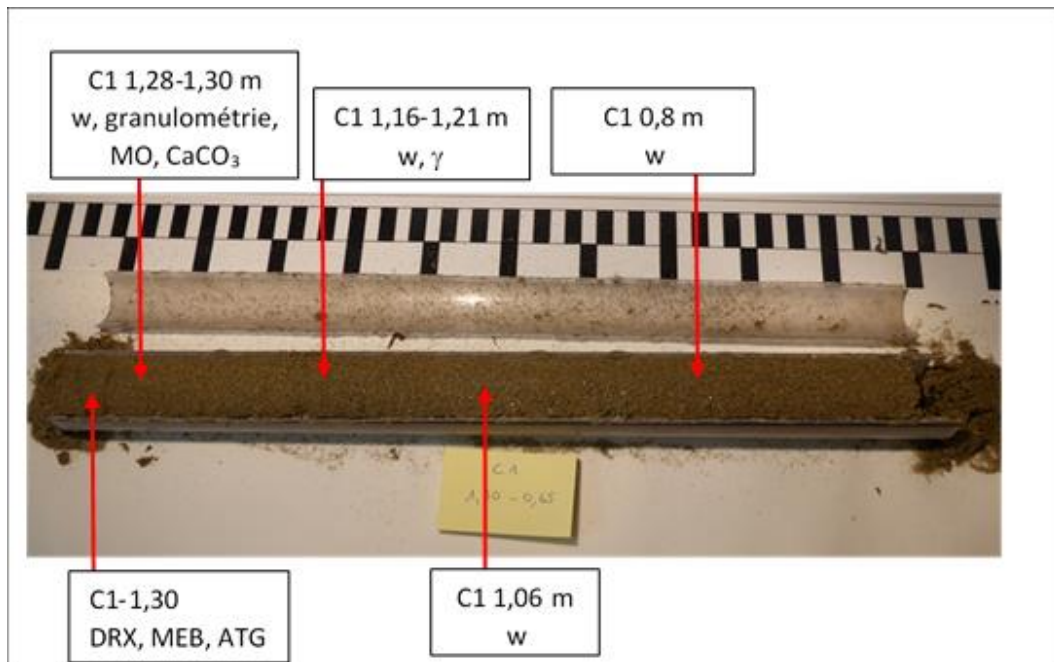


Figure 4 - Vue globale de la carotte C1 0,65 m à 1,30 m

## Carotte C2

Le prélèvement référencé « C2 à -3,0 m NGF » de profondeur est constitué de sables fins, gris à noir. La Figure 5 présente une vue globale du prélèvement C2 ainsi que les essais réalisés (il faut noter que le matériau a été réceptionné au laboratoire en vrac/remanié).



Figure 5 - Vue globale du prélèvement C2 > 2m (<-3m NGF) (photo CISMA)

## Carotte C3

Les formations rencontrées dans la carotte « C3 0,00 m à 0,50 m » suivant la profondeur sont :

- de 0,00 à 0,24 m : sable moyen marron/jaune, fin, avec quelques grains isolés de diamètre plus important (4 mm environ) ;

- de 0,24 à 0,30 m : sable gris grossier (diamètre moyen de 3 mm) et quelques grains grossiers (diamètre maximal de 7 mm) ; on observe également une fine bande de vase gris foncé entre (0,24 m et 0,25 m) ;
- de 0,30 à 0,42 m : alternances de sable gris et de matériau organique noir avec présence de petits débris végétaux (branches) ;
- de 0,42 à 0,45 m : sable très fin, gris ;
- de 0,45 à 0,49 m : alternances de sable gris et de matériau organique noir (couche de faible épaisseur) ;
- de 0,49 à 0,51 m : sable très fin, gris.

La Figure 6 présente une vue globale de la carotte « C3 0,00 m à 0,50 m » ainsi que les essais réalisés sur ce prélèvement.

Les formations rencontrées dans la carotte « C3 0,50 m à 1,00 m » suivant la profondeur sont :

- de 0,50 à 0,54 m : sable gris clair ;
- de 0,54 à 0,62 m : alternances de sable gris clair à noir (de plus en plus foncé avec la profondeur) ;
- de 0,62 à 0,70 m : sable avec quelques débris végétaux ;
- de 0,70 à 0,74 m : moins de sable mais plus débris végétaux (fibres) ;
- de 0,74 à 0,98 m : débris végétaux ;
- de 0,98 à 1,00 m : vase noire.

La Figure 7 présente une vue globale de la carotte « C3 0,50 m à 1,00 m » ainsi que les essais réalisés.

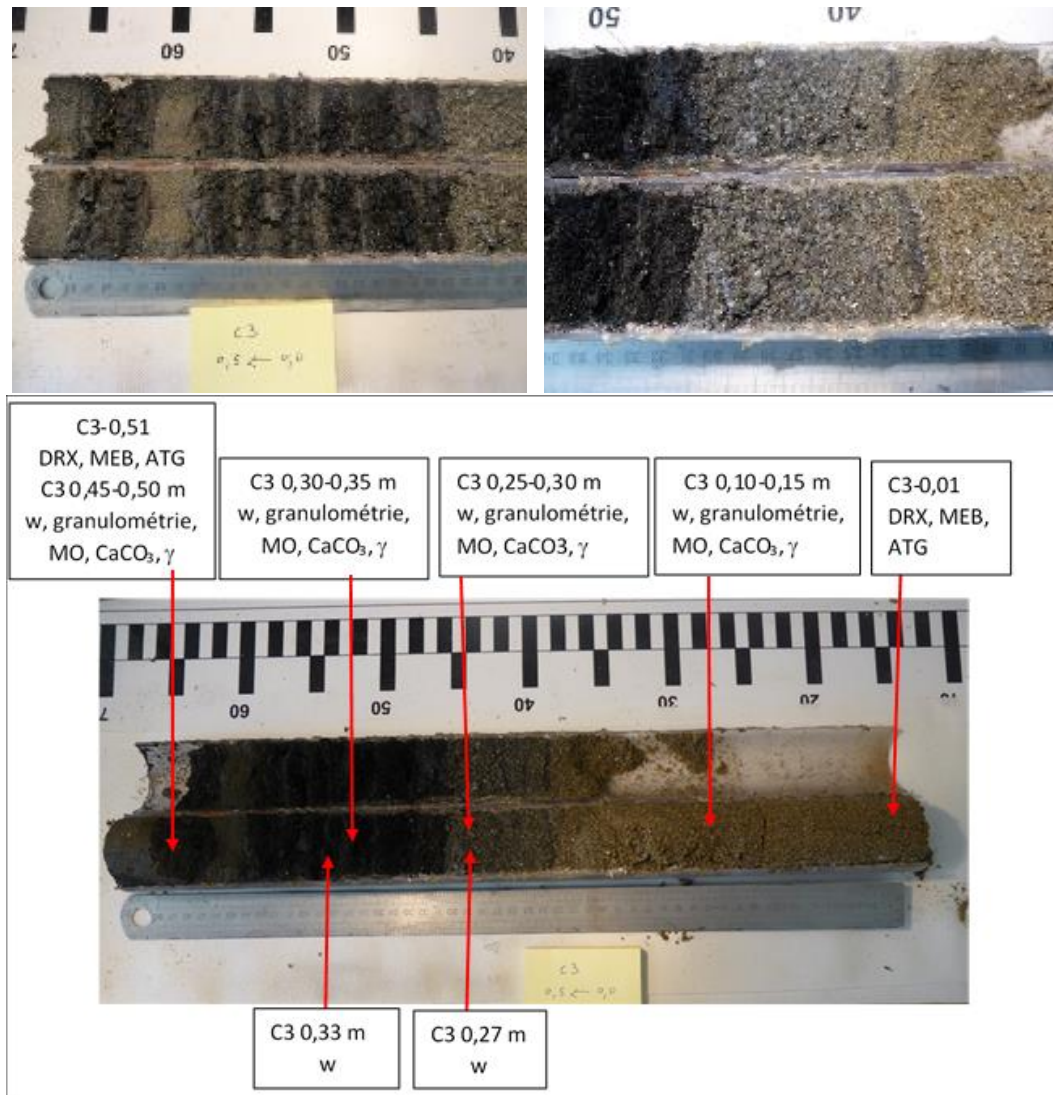


Figure 6 - Vue globale de la carotte C3 0,00 m à 0,50 m

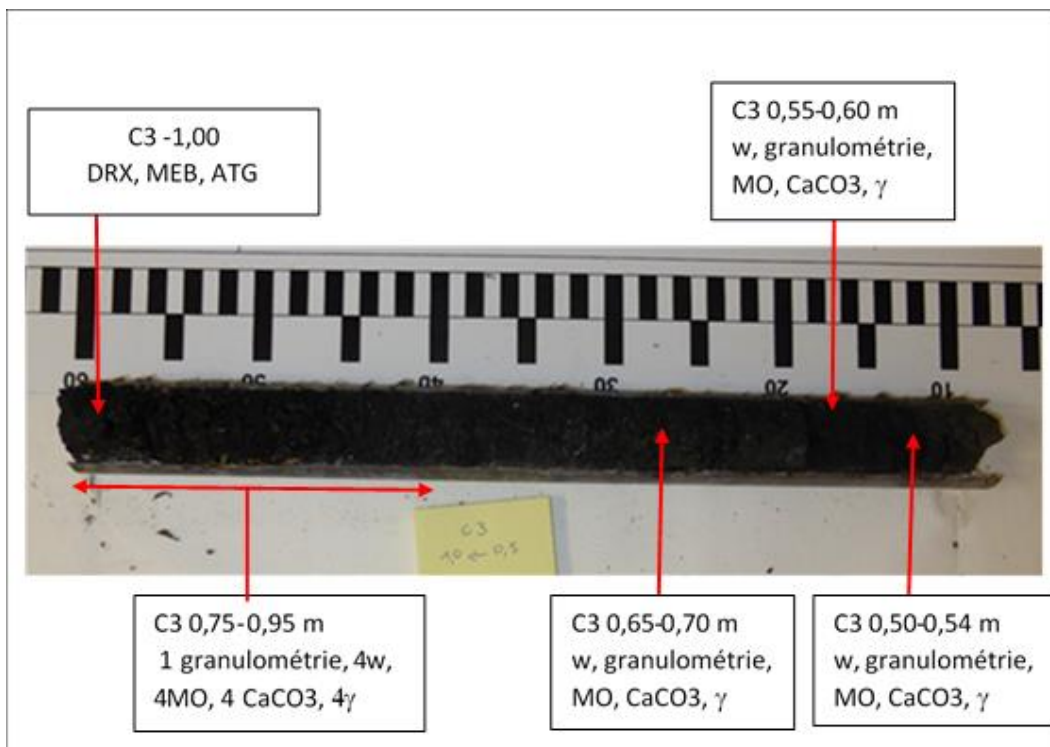


Figure 7 - Vue globale de la carotte C3 0,50 m à 1,00 m

Le prélèvement référencé « C3 à -3,0 m NGF » de profondeur est constitué par des sables fins, gris à noir. La Figure 8 présente une vue globale du prélèvement C3 et les essais réalisés.

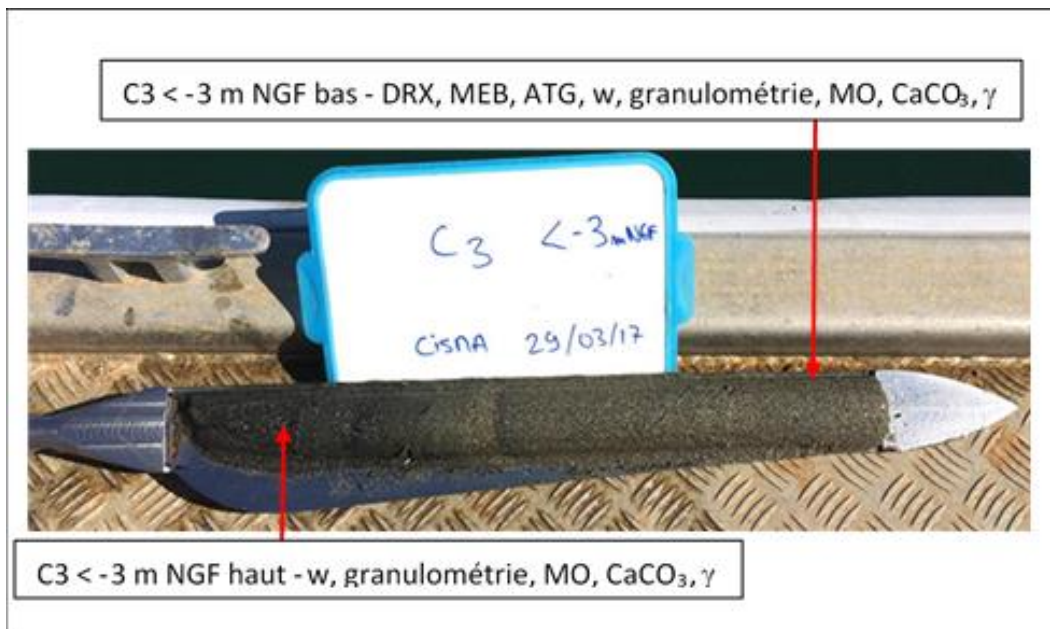


Figure 8 - Vue globale du prélèvement C3 > 1,8 m (<-3m NGF) (photo CISMA)

## Carotte C4

La carotte « C4 0,00 m à 0,50 m » est constituée par de sable fin, de couleur marron, homogène. La Figure 9 présente une vue globale de la carotte et les essais réalisés.

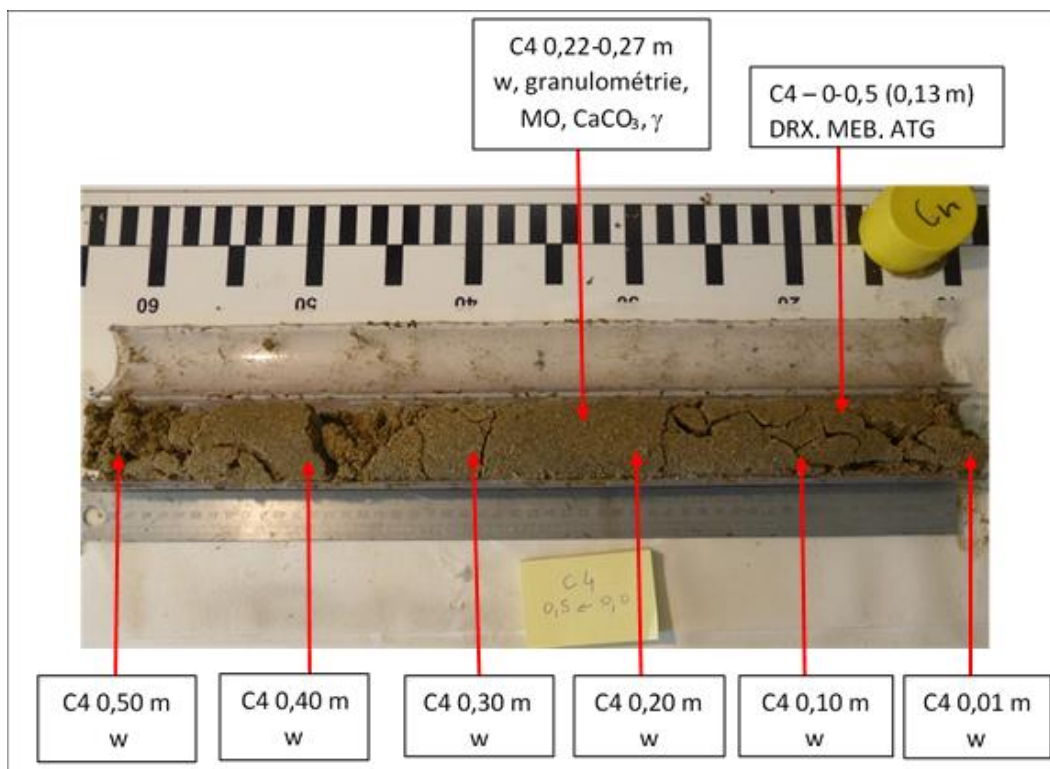


Figure 9 - Vue globale de la carotte C4 0,00 m à 0,50 m

Les formations rencontrées dans la carotte « C4 0,50 m à 1,00 m » suivant la profondeur sont :

- de 0,50 à 0,58 m : sable fin marron ;
- de 0,58 à 0,69 m : sable gris moyen (diamètre maximal de 3 mm environ) ; présence d'une bande noire de matériau organique ;
- de 0,69 à 0,76 m : sable moyen à grossier (diamètre maximal de 6 mm), marron ;
- de 0,76 à 0,79 m : sable moyen gris - présence de quelques grains isolés (diamètre maximal de 10 mm) ;
- de 0,79 à 1,00 m : sable grossier gris/jaune ;

La Figure 10 présente une vue globale de la carotte « C4 0,50 m à 1,00 m » et les essais réalisés.

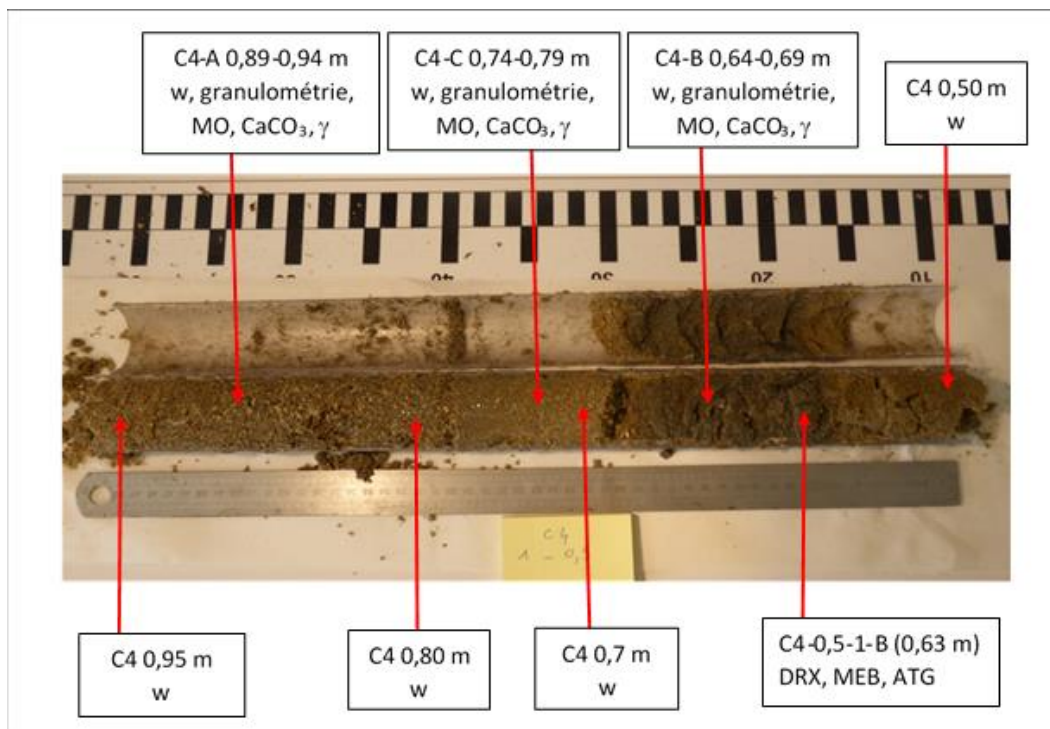


Figure 10 - Vue globale de la carotte C4 0,50 m à 1,00 m

Les formations rencontrées dans la carotte « C4 0,00 m à 1,00 m (compactée) » suivant la profondeur sont :

- de 0,00 à 0,07 m : sable fin, homogène de couleur marron ;
- de 0,07 à 0,13 m : sable grossier avec un diamètre maximal de 7 mm, marron à gris ;
- de 0,13 à 0,27 m : sable moyen de couleur marron à gris ;
- de 0,27 à 0,45 m : sable gris avec des traces noires de débris végétaux (0,40 m-0,45 m).

La Figure 11 présente une vue globale de la carotte « C4 0,00 m à 1,00 m (compactée) ».



Figure 11 - Vue globale de la carotte C4 0,00 m à 1,00 m (compactée).



## Carotte C5

Les formations rencontrées dans la carotte « C5 0,00 m à 0,20 m » suivant la profondeur sont :

- de 0,00 à 0,04 m : sable grossier, gris avec un diamètre de 5 mm environ ;
- de 0,04 à 0,11 m : sable moyen, gris avec un diamètre de 2 mm environ ;
- de 0,11 à 0,17 m : sable grossier, gris avec un diamètre de 6 mm environ ;
- de 0,17 à 0,22 m : sable grossier, gris avec un diamètre de 5 mm environ.

La Figure 12 présente une vue globale de la carotte « C5 0,00 m à 0,20 m ».



Figure 12 - Vue globale de la carotte C5 0,00 m à 0,20 m.

Les formations rencontrées dans la carotte « C5 0,00 m à 1,00 m » suivant la profondeur sont :

- de 0,00 à 0,29 m : sable marron - grain fin à moyen de diamètre inférieur à 3 mm ;
- de 0,29 à 0,40 m : sable et vase noire - grain moyen ;
- de 0,40 à 0,51 m : sable grossier gris/jaune - diamètre de grain inférieur à 7 mm ;
- de 0,51 à 0,60 m : sable grossier de diamètre inférieur à 5 mm avec des grains isolés de 7 mm de diamètre ;
- de 0,60 à 0,73 m : sable fin et vase, gris à noir, existence des grains de sable grossier isolés de 5 mm de diamètre.

La Figure 13 présente une vue globale de la carotte « C5 0,00 m à 1,00 m » et les essais réalisés.

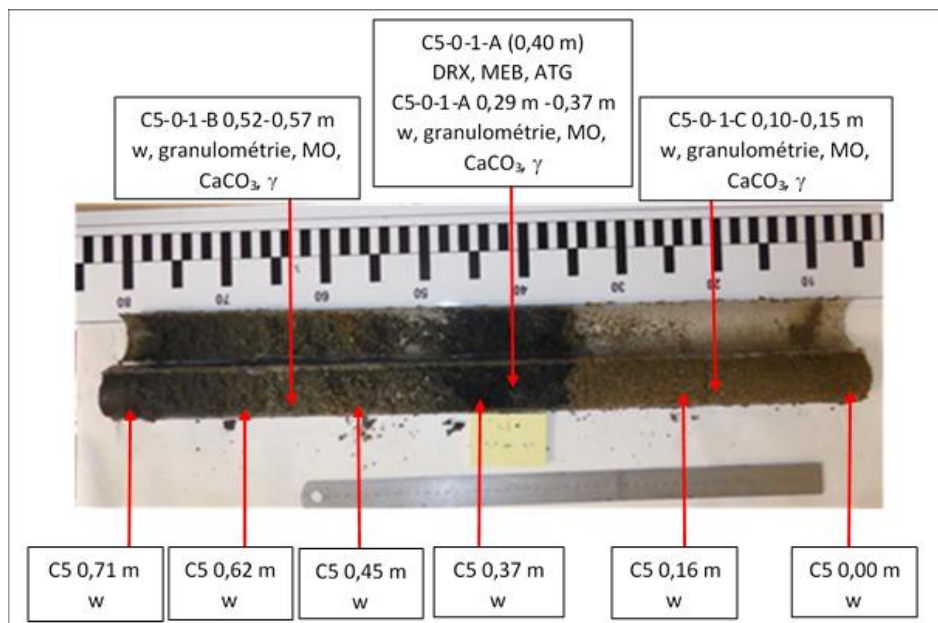


Figure 13 - Vue globale de la carotte C5 0.00 m à 1.00 m

Les formations rencontrées dans la carotte « C5 1,00 m à 2,00 m (compactée) » suivant la profondeur sont :

- de 1,10-1,22 m : sable très grossier (diamètre maximal de 7 mm environ), de couleur marron clair ;
- de 1,22-1,33 m : sable fin, gris foncé, vase noire avec des matières végétales noires de 20 mm de longueur environ ;
- de 1,33-1,50 m : sable grossier (diamètre maximale de 7 mm environ), marron clair.

La Figure 14 présente une vue globale de la carotte « C5 1,00 m à 2,00 m (compactée) » et les essais réalisés.

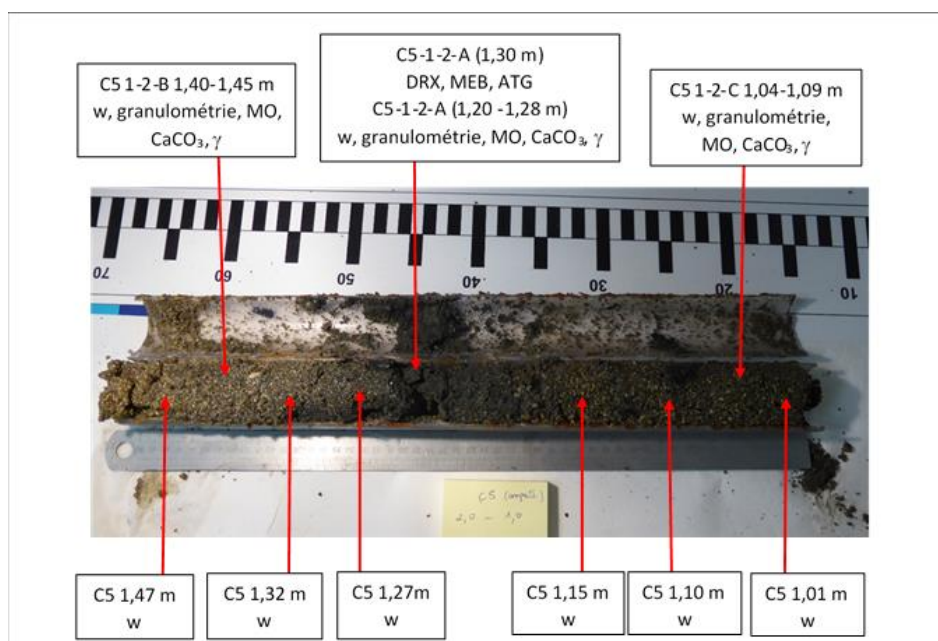


Figure 14 - Vue globale de la carotte C5 1,00 m à 2,00 m (compactée)

Les formations rencontrées dans la carotte « C5 0,00 m à 1,00 m (compactée) » suivant la profondeur sont :

- de 0,00 à 0,38 m : sable grossier (diamètre maximale de 6 mm environ) ;
- de 0,38 à 0,50 m : sable moyen avec une bande de 10 mm de vase sur une face de la carotte et une bande de vase d'environ 90 mm de longueur sur l'autre face.

La Figure 15 présente une vue globale de la carotte « C5 0,00 m à 1,00 m (compactée) ».



Figure 15 - Vue globale de la carotte C5 0,00 m à 1,00 m (compactée)

## Teneurs en eau

### Introduction

La teneur en eau  $w$  d'un matériau est habituellement exprimée en pourcentage, et représente le rapport du poids de l'eau contenue dans le sol sur le poids de sol sec :

$$w = \frac{\text{Masse d'eau}}{\text{masse sol sec}}$$

Les mesures de la teneur en eau ont été réalisées suivant les indications de la norme NF P 94-050. Les prélèvements sont placés à l'étuve ventilée, à une température n'excédant pas 60°C pour éviter le départ d'une partie de la matière organique potentiellement présente. Le séchage est poursuivi jusqu'à stabilisation de la masse.

### Résultats

À l'ouverture des carottes, des mesures de la teneur en eau ont été réalisées en différents points. Les valeurs obtenues sont présentées Figure 16 et Tableau 2. Les valeurs mesurées sont de l'ordre de 20% pour les carottes C1, C4 et C5. On note que les teneurs en eau sont nettement plus élevées pour la carotte C3, notamment à partir de 60 cm de profondeur, dans la partie vasarde. Cette zone du dépôt semble correspondre à une zone d'accumulation importante de matière organique par rapport aux autres profils prélevés.

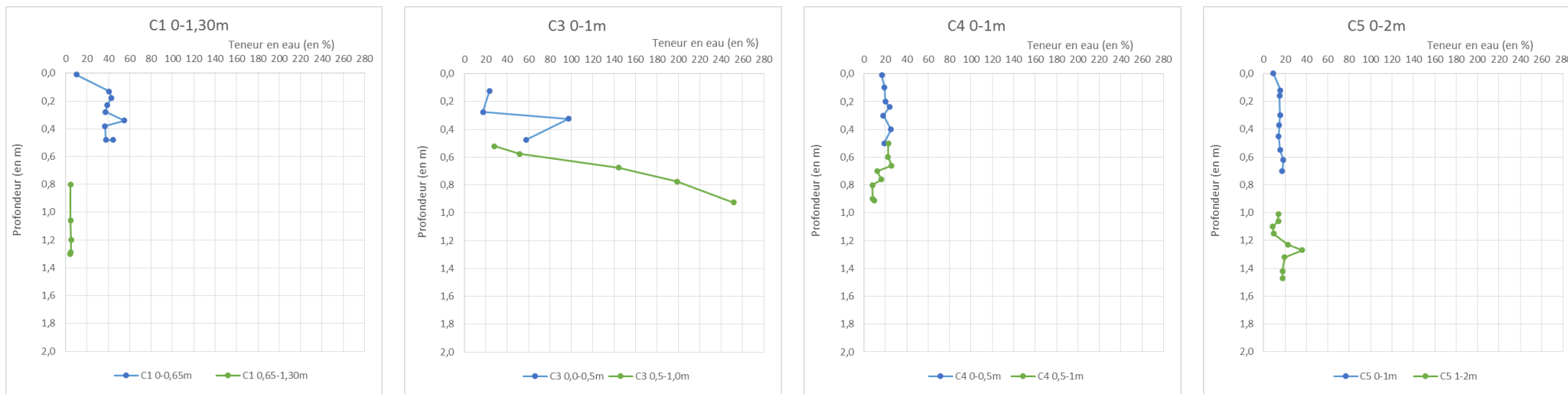


Figure 16 - Teneurs en eau mesurées

Tableau 2 - Teneurs en eau

Référence	w (%)
C2 > 2 m	31,5
	30,6
C3 > 1,8 m (haut)	42,7
C3 > 1,8 m (bas)	26,8
	27,7

## Analyses granulométriques

### Introduction

L'analyse granulométrique des matériaux consiste à déterminer la répartition des grains d'un matériau. Le résultat indique les proportions de grains de différents diamètres présents. La classification granulométrique utilisée en sédimentologie est la suivante :

Argile	: 0 - 2 $\mu\text{m}$	Sables grossiers	: 0,2 - 2 mm
Limons	: 2 - 20 $\mu\text{m}$	Graviers	: 2 - 20 mm
Sables fins	: 20 - 200 $\mu\text{m}$	Cailloux	: 20 - 200 mm

Les analyses granulométriques ont été réalisées au granulomètre laser (Cilas 1180) avec dispersion mécanique du matériau dans l'eau pour la fraction inférieure à 2 mm et par tamisage mécanique sur une série de tamis AFNOR pour la fraction supérieure.

### Résultats

Les résultats obtenus sont présentés dans les tableaux 3 à 7 et sous forme de courbes granulométriques cumulatives figures 17 à 21.

Une synthèse de ces résultats est présentée sous forme d'histogramme en figure 22. On remarque alors que les matériaux sont globalement sablo-graveleux. La partie argileuse est présente en faible quantité (toujours inférieure à 1%), tandis que la partie limoneuse est présente de manière variable suivant les carottages et les profondeurs. Elle varie entre 0,1 % et 6,4 %. Des éléments plus grossiers (graviers, 2 à 20 mm) sont présents de manière significative dans plusieurs prélèvements des carottages C3, C4 et C5.

### Carotte C1

Tableau 3 - Classification 'LCPC' – sondage C1

Échantillon	Descriptif visuel	%	Argile 0 - 2 $\mu\text{m}$	Limons 2 - 20 $\mu\text{m}$	Sables fins 20 - 200 $\mu\text{m}$	Sables grossiers 0,2 - 2 mm	Graviers 2 - 20 mm	Grain médian à 50%
C1 0-0,65 C (0,21 à 0,26m)	Sable fin, marron foncé	Partiels	0,2	1,4	59,9	38,5	0,1	180 $\mu\text{m}$
		Cumulés	0,2	1,6	61,4	99,9	100,0	
C1 0-0,65 A (0,31 à 0,36m)	Sable fin, marron foncé	Partiels	0,9	5,5	64,8	28,7	0,1	150 $\mu\text{m}$
		Cumulés	0,9	6,4	71,1	99,9	100,0	
C1 0-0,65 B (0,46 à 0,50m)	Sable fin à moyen, marron	Partiels	0,4	2,5	21,3	74,6	1,2	300 $\mu\text{m}$
		Cumulés	0,4	3,0	24,3	98,8	100,0	
C1 0,65-1,30 (1,28 à 1,30m)	Sable fin à moyen, marron clair	Partiels	0,1	0,4	6,5	92,9	0,1	310 $\mu\text{m}$
		Cumulés	0,1	0,5	7,0	99,9	100,0	

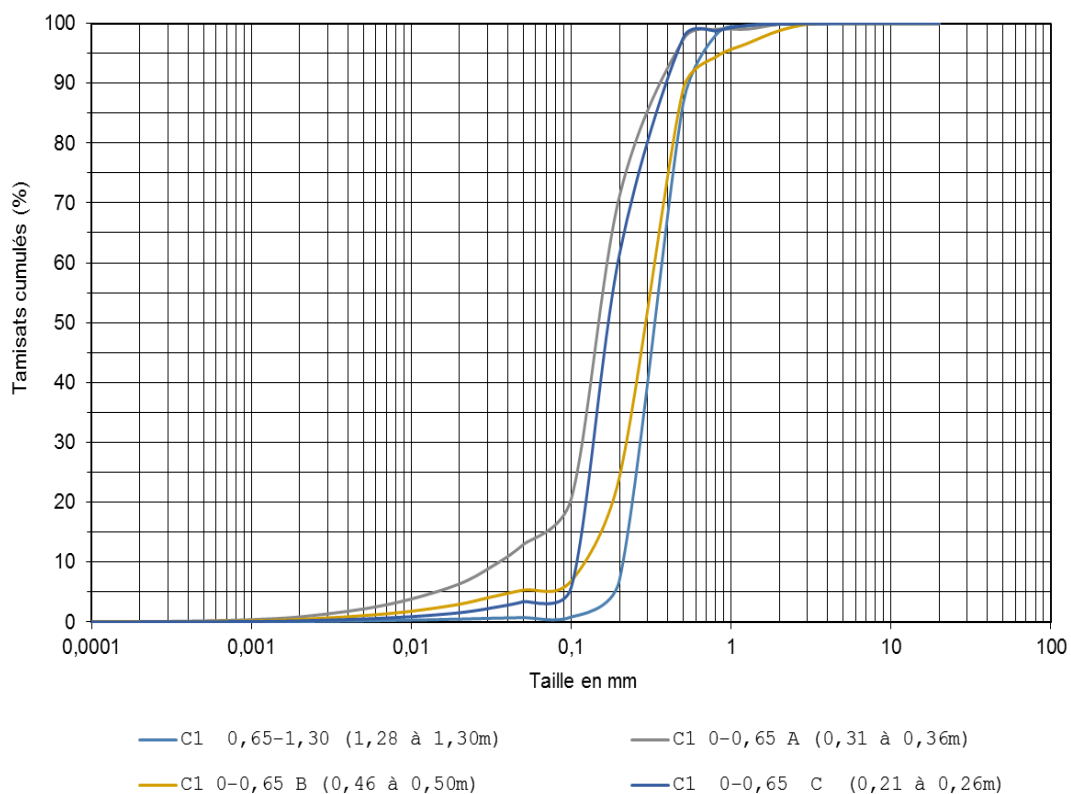


Figure 17 - Courbes granulométriques - sondage C1

### Carotte C2

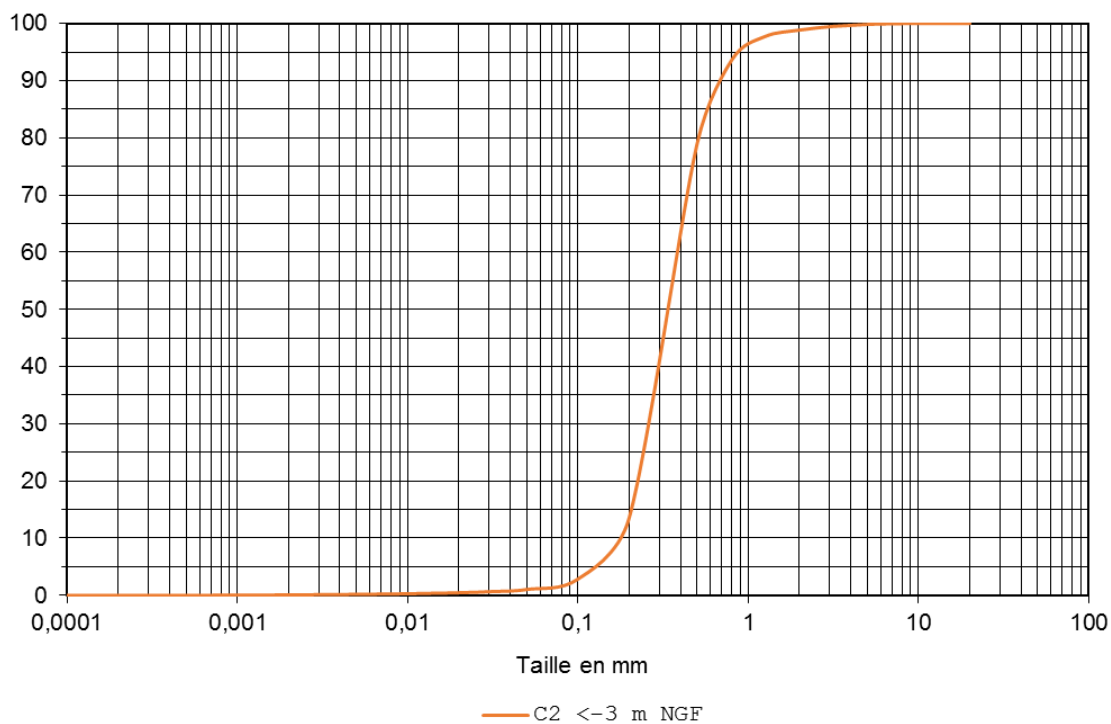


Figure 18 - Courbes granulométriques - sondage C2

Tableau 4 - Classification 'LCPC' – sondage C2

Échantillon	Descriptif visuel	%	Argile 0 - 2 µm	Limons 2 - 20 µm	Sables fins 20 - 200 µm	Sables grossiers 0,2 - 2 mm	Graviers 2 - 20 mm	Grain médian à 50%
C2 <- 3 m NGF	Sable fin à moyen, gris à noir	Partiels	0,1	0,4	13,1	85,3	1,1	320 µm
		Cumulés	0,1	0,4	13,6	98,9	100,0	

### Carotte C3

Tableau 5 - Classification 'LCPC' – sondage C3

Échantillon	Descriptif visuel	%	Argile 0 - 2 µm	Limons 2 - 20 µm	Sables fins 20 - 200 µm	Sables grossiers 0,2 - 2 mm	Graviers 2 - 20 mm	Grain médian à 50%
C3 0-0,50 m (0,10 à 0,15 m)	Sable moyen, marron	Partiels	0,0	0,1	3,5	95,9	0,4	380 µm
		Cumulés	0,0	0,1	3,6	99,6	100,0	
C3 0-0,50 (0,25m-0,30m)	Sable grossier, gris	Partiels	0,1	0,5	3,3	86,8	9,3	650 µm
		Cumulés	0,1	0,6	3,9	90,7	100,0	
C3 0-0,50 (0,30 à 0,35 m)	Sable gris et matière organique	Partiels	0,3	1,9	20,4	74,2	3,1	400 µm
		Cumulés	0,3	2,2	22,6	96,9	100,0	
C3 0-0,50 (0,45-0,50 m)	Sable gris et matière organique	Partiels	0,6	4,0	46,8	44,5	4,1	200 µm
		Cumulés	0,6	4,6	51,4	95,9	100,0	
C3 0,50 - 1 (0,50-0,54 m)	Sable gris clair	Partiels	0,1	0,7	37,2	62,0	0,0	240 µm
		Cumulés	0,1	0,8	38,0	100,0	100,0	
C3 0,50-1 (0,55 à 0,60 m)	Sable gris à noir	Partiels	0,3	2,1	46,2	51,0	0,4	200 µm
		Cumulés	0,3	2,4	48,5	99,6	100,0	
C3 0,50-1 (0,65 à 0,70 m)	Sable noir et matière organique	Partiels	0,2	1,2	19,4	44,5	34,8	800 µm
		Cumulés	0,2	1,3	20,7	65,2	100,0	
C3 0,50-1 (0,75 à 0,95 m)	Débris végétaux	Partiels	0,1	1,1	15,5	35,3	47,9	1900 µm
		Cumulés	0,1	1,3	16,7	52,1	100,0	
C3 < - 3 m NGF (bas)	Sable fin à moyen, gris à noir	Partiels	0,1	0,3	9,8	82,9	6,9	400 µm
		Cumulés	0,1	0,4	10,2	93,1	100,0	
C3 < -3m (haut)	Sable fin à moyen, gris à noir	Partiels	0,1	0,9	16,2	81,7	1,2	300 µm
		Cumulés	0,1	1,0	17,2	98,8	100,0	

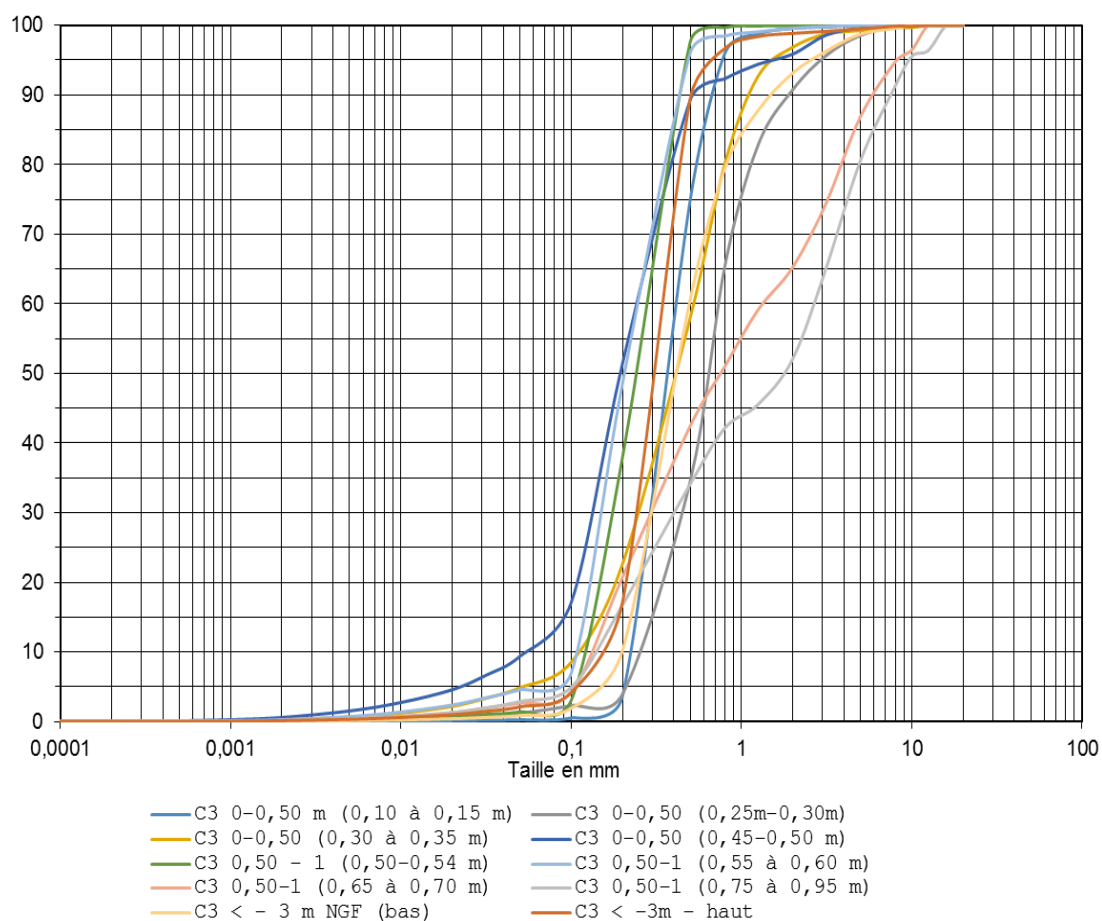


Figure 19 - Courbes granulométriques - sondage C3

## Carotte C4

Tableau 6 - Classification 'LCPC' – sondage C4

Échantillon	Descriptif visuel	%	Argile 0 - 2 µm	Limons 2 - 20 µm	Sables fins 20 - 200 µm	Sables grossiers 0,2 - 2 mm	Graviers 2 - 20 mm	Grain médian à 50%
C4 0-0,5 (0,22 à 0,27m)	Sable fin à moyen, marron	Partiels	0,1	0,5	32,6	66,8	0,0	280 µm
		Cumulés	0,1	0,6	33,2	100,0	100,0	
C4 0,5-1 B (0,64 à 0,69m)	Sable fin à moyen, marron	Partiels	0,1	0,3	15,9	83,6	0,1	320 µm
		Cumulés	0,1	0,4	16,3	99,9	100,0	
C4 0,5-1 C (0,74 à 0,79m)	Sable moyen à grossier, gris	Partiels	0,1	0,3	11,0	67,0	21,7	800 µm
		Cumulés	0,1	0,3	11,3	78,4	100,0	
C4 0,5-1 A (0,89 à 0,94m)	Sable grossier, gris/jaune	Partiels	0,1	0,2	6,5	53,2	40,0	1600 µm
		Cumulés	0,1	0,3	6,8	60,0	100,0	



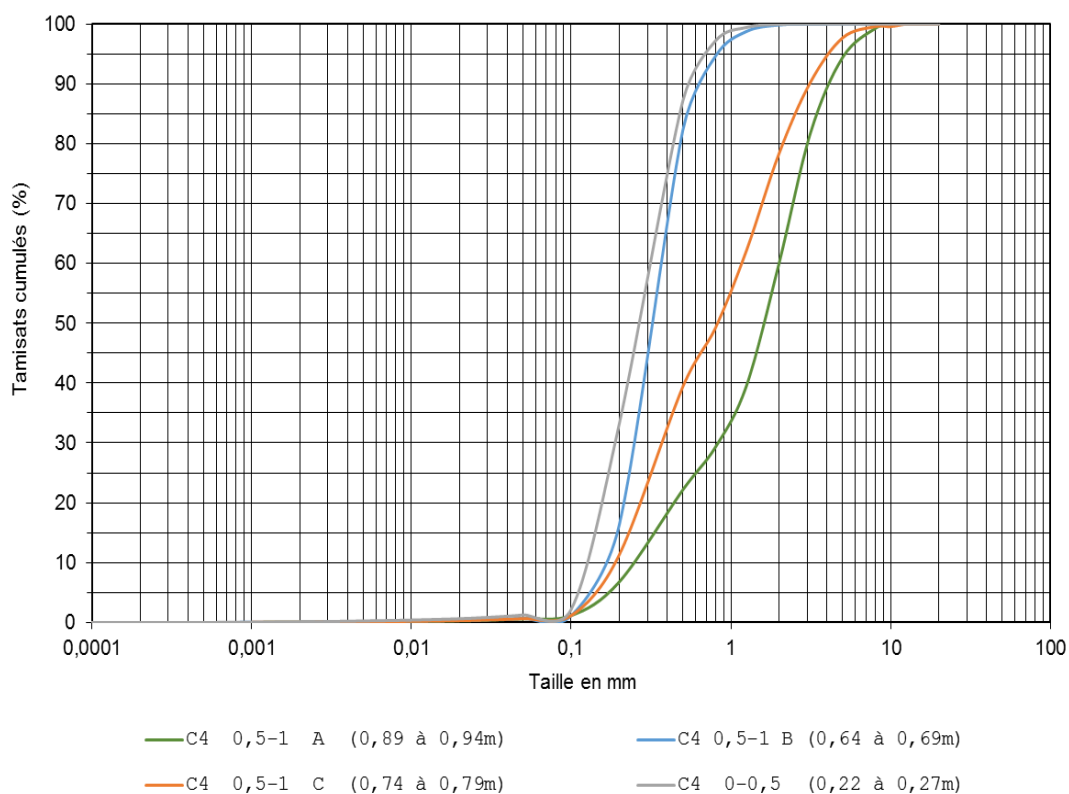


Figure 20 - Courbes granulométriques - sondage C4

## Carotte C5

Tableau 7 - Classification 'LCPC' - sondage C5

Échantillon	Descriptif visuel	%	Argile 0 - 2 $\mu$ m	Limons 2 - 20 $\mu$ m	Sables fins 20 - 200 $\mu$ m	Sables grossiers 0,2 - 2 mm	Graviers 2 - 20 mm	Grain médian à 50%
C5 0-1 C (0,10 à 0,15 m)	Sable fin à grossier, marron	Partiels	0,2	0,8	5,7	82,6	10,8	800 $\mu$ m
		Cumulés	0,2	1,0	6,6	89,2	100,0	
C5 0-1 A (0,29 à 0,34 m)	Sable moyen et vase noire	Partiels	0,2	1,4	6,7	65,5	26,2	1100 $\mu$ m
		Cumulés	0,2	1,6	8,3	73,8	100,0	
C5 0-1 B (0,52 à 0,57 m)	Sable grossier	Partiels	0,1	0,4	2,4	76,8	20,3	900 $\mu$ m
		Cumulés	0,1	0,5	2,9	79,7	100,0	
C5 1-2 C (1,04 à 1,09 m)	Sable grossier, marron	Partiels	0,1	0,6	2,3	50,5	46,5	1900 $\mu$ m
		Cumulés	0,1	0,7	3,0	53,5	100,0	
C5 1-2 A (1,20 à 1,25 m)	Sable fin à moyen, gris et vase noire	Partiels	0,2	0,8	17,0	67,1	14,9	400 $\mu$ m
		Cumulés	0,2	1,0	18,0	85,1	100,0	
C5 1-2 B (1,40 à 1,45 m)	Sable grossier marron clair	Partiels	0,1	0,3	2,6	80,6	16,5	900 $\mu$ m
		Cumulés	0,1	0,4	3,0	83,5	100,0	

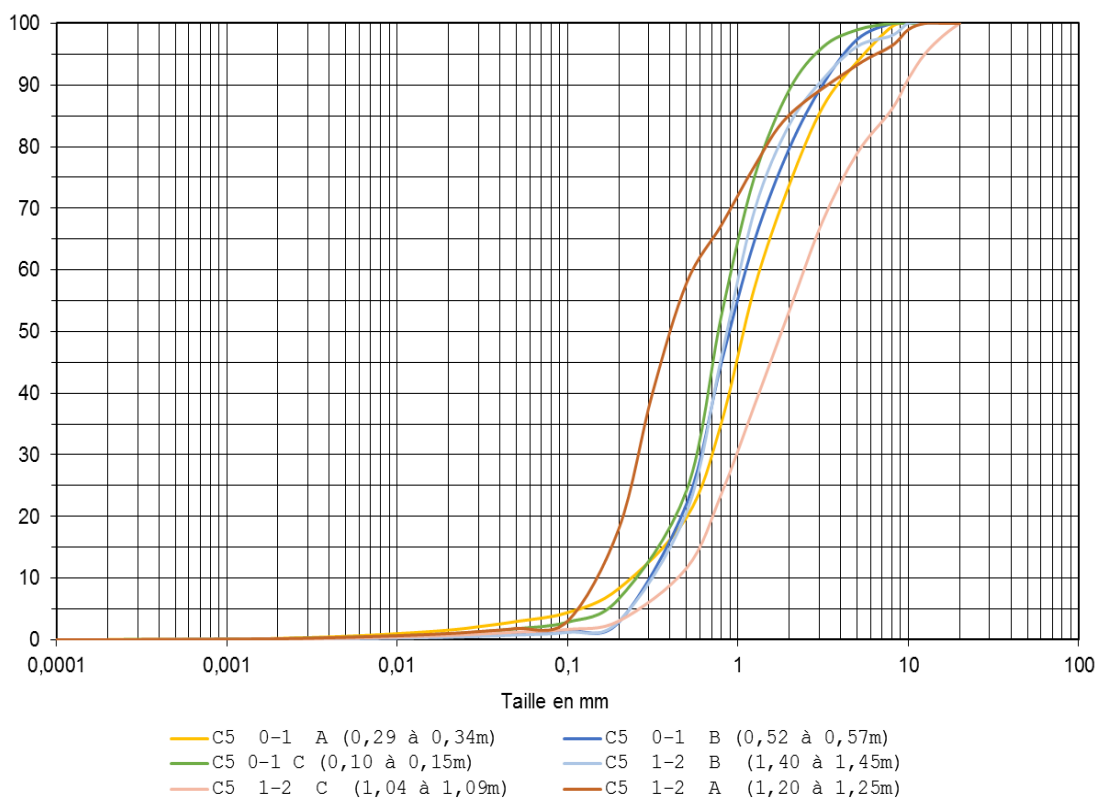


Figure 21 - Courbes granulométriques - sondage C5

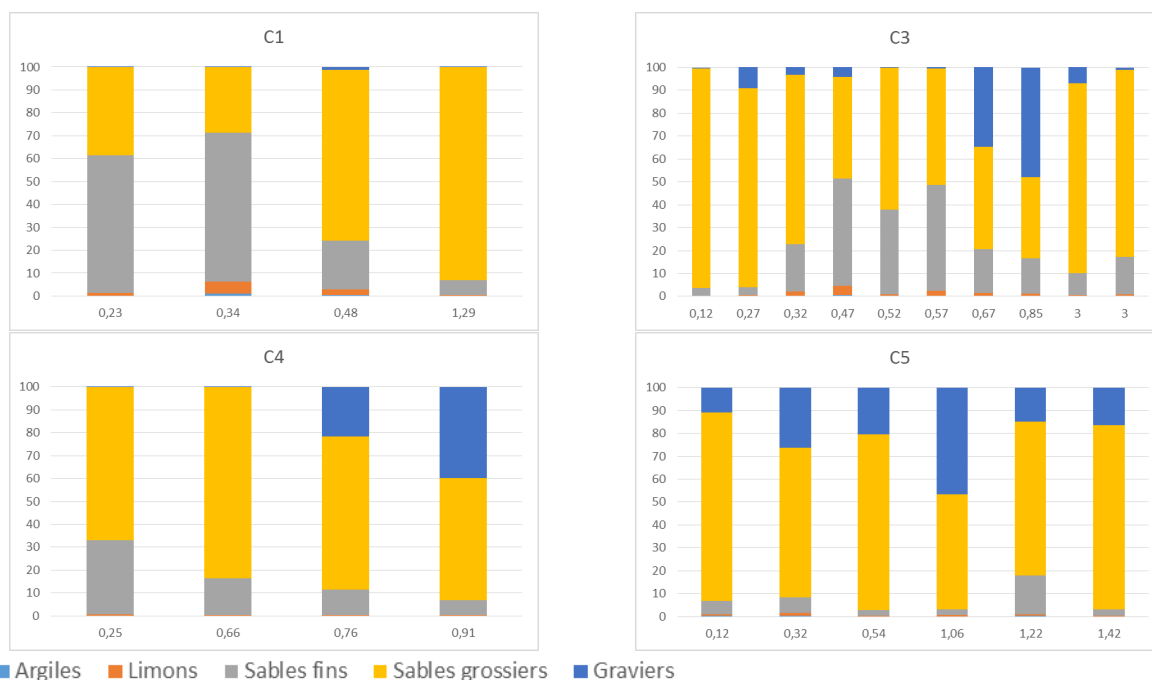


Figure 22 - Synthèse des granulométries (Axe x : profondeur ; Axe y : pourcentage)

Les mesures, pour le carottage C1, montrent une granulométrie plutôt homogène et fine depuis la surface du dépôt jusqu'à une profondeur de 1,3 m (D50 compris 150 µm et 300 µm, Figure 23).

Au niveau du carottage C2, seul le prélèvement réalisé en profondeur après dragage (> 3,00 m) est disponible. Le grain médian est de l'ordre de 300 µm et correspond donc à un sable fin.

Pour le carottage C3, depuis la surface jusqu'à 0,60 m de profondeur, on observe une granulométrie légèrement supérieure (D50 compris 200 µm et 650 µm) à celles obtenues pour C1 et C2. Une zone nettement plus grossière est détectée entre 0,70 m et 0,95 m (D50 entre 800 µm et 1900 µm).

Pour le carottage C4, entre la surface et 0,70 m de profondeur, on retrouve une granulométrie fine similaire à celle identifiée en C1 aux mêmes profondeurs, et une granulométrie grossière entre 0,70 m et 0,95 m similaire à C3 pour les mêmes profondeurs.

Les matériaux issus du carottage C5 présentent un profil granulométrique significativement différent. Des graviers (au sens granulométrique, taille comprise entre 2 et 20mm) sont systématiquement présent (figure 22). De plus, le grain médian est globalement plus important (entre 800 µm et 1100 µm) que pour les autres carottages (Figure 23). On retrouve une zone plus grossière aux alentours de 1,00 m de profondeur (D50 de 1900 µm).

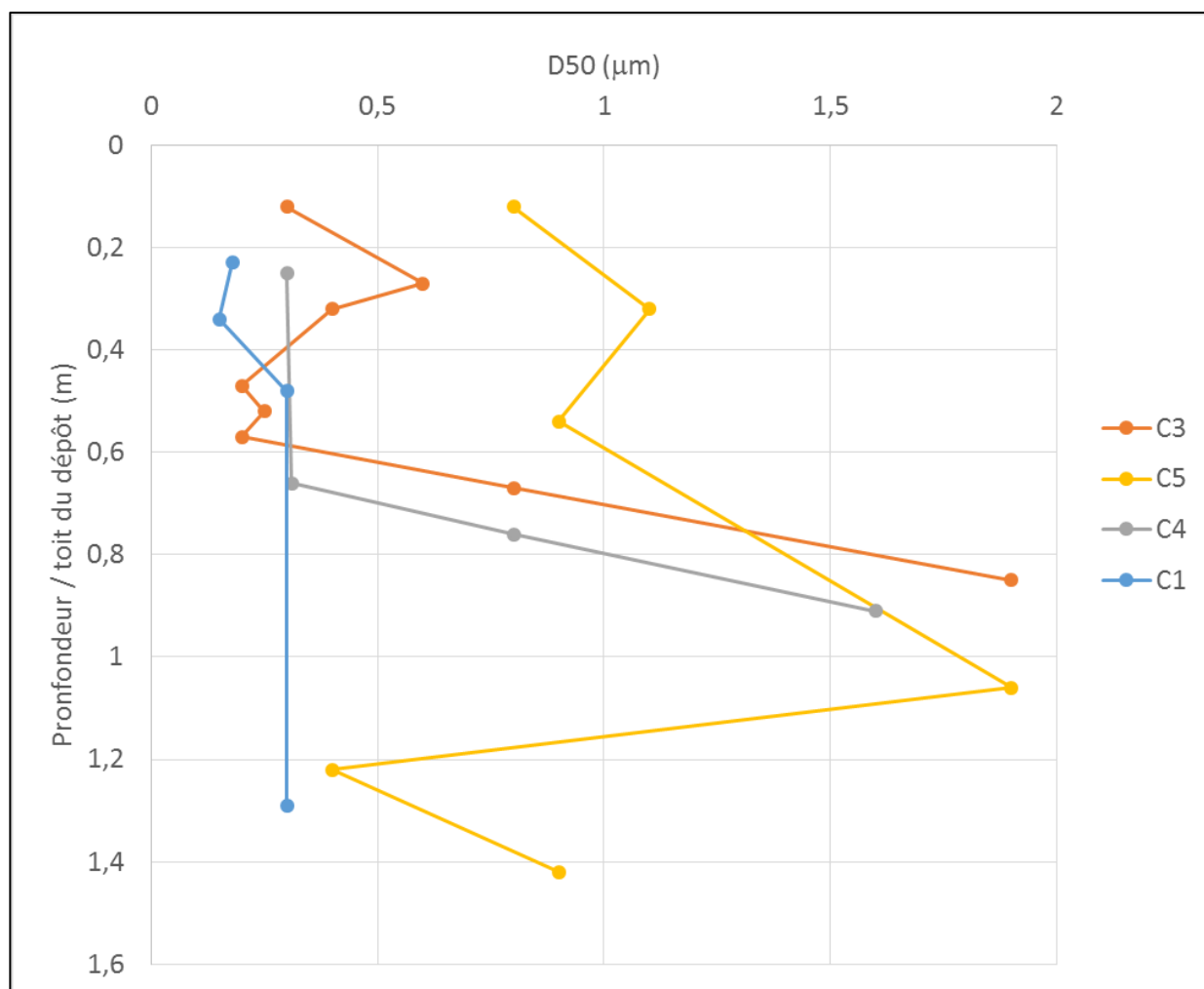


Figure 23 - Évolution du diamètre moyen avec la profondeur pour les différents carottages

Au niveau de la Giscle (carottage C5), on peut supposer que les éléments fins soient transportés en aval. Ceci peut expliquer la granulométrie plus grossière et homogène observée en C5. Les éléments fins présents alors en C1 et C3 proviennent donc en partie des apports fluviaux de la Giscle.

## Matières organiques

### Introduction

La matière organique joue un rôle important dans la détermination des propriétés physiques, chimiques et biologiques des matériaux naturels que sont les sédiments. Cette mesure peut être effectuée par dosage direct (après élimination des carbonates par traitement à l'acide), par dosage indirect (dosage du carbone total puis du carbone organique total) ou par incinération (perte au feu).

Pour nos mesures, nous avons utilisés la méthode par perte au feu qui permet une bonne estimation de la teneur en matières organiques en mesurant la perte de poids du matériau après calcination. Les sédiments étudiés contenant une partie d'argile, la température de calcination adoptée est de 375°C. À cette température, les minéraux argileux ne sont pas dégradés.

Pour ces mesures, les prises d'échantillons sont préalablement séchées à l'étuve ventilée à 60°C pendant 16h, puis refroidis dans un dessiccateur. La calcination est ensuite réalisée dans un four à moufle, la température de 375°C est maintenue pendant 24h. La teneur en matières organiques est alors la perte de masse induite par la phase de calcination exprimée en pourcentage de la masse sèche initiale.

Cette procédure correspond à celle de la norme XP P 94-047.

### Résultats

Les résultats des mesures de la teneur en matières organiques sur les différents prélèvements sont donnés dans le Tableau 8 et sur la Figure 24.

Les valeurs obtenues sont globalement faibles (hors C3) pour des sédiments. En effet, la teneur en matières organiques est systématiquement inférieure à 1,1% pour les prélèvements des carottages C2, C4 et C5. Pour le carottage C1, les valeurs sont légèrement plus élevées (3,4% et 6,9%) entre 30 et 50 cm de profondeur. Ces valeurs correspondent à des sédiments globalement limono/sableux, faiblement vasards.

Seul le profil C3 montre des teneurs en matière organique élevées, caractéristiques de matériaux de type vases.

Les mesures de MO sont ainsi bien corrélées avec les mesures de la teneur en eau : les teneurs en eau les plus faibles mesurées correspondent aux plus faibles valeurs de teneurs en matières organiques. A l'inverse, les matériaux à forte teneur en eau (C3) correspondent à ceux comportant le plus de matière organique.

Il semble donc que l'emplacement du carottage C3 corresponde à une zone d'accumulation de matières organiques préférentielle. C1, situé plus en aval, présente des teneurs en matières organiques plus faibles. C5, en amont dans la Giscle, présente des teneurs en matières organiques très faibles, de même que C4, situé sur la plage en zone « maritime ».

On peut supposer que la matière organique est transportée depuis la Giscle, et déposée à l'interface du domaine fluvio-maritime, dans la zone du carottage C3 (Figure 2). Ceci est conforme à l'hypothèse d'un

dépôt de matériaux fins provenant de la Giscle, telle que formulée suite à l'analyse des mesures granulométriques.

Tableau 8 - Teneur en matières organiques

Échantillon	Profondeur (m)	MO (%)	Échantillon	Profondeur (m)	MO (%)
C1 0-0,65 m	0,23	1,1	C3 < - 3 m NGF haut	-	1,1
	0,34	3,4	C3 < - 3 m NGF bas	-	0,7
	0,48	6,9	C4 0-0,5m	0,24	0,3
C1 0,65-1,30 m	1,29	0,4	C4 0,5-1 m	0,66	0,3
C2 < - 3 m NGF	-	0,6		0,76	0,5
C3 0-0,5 m	0,13	0,6		C5 0-1 m	0,91
	0,28	0,6	0,12		0,5
	0,33	11,7	0,3		1,0
	0,48	3,5	0,55		0,4
C3 0,5-1 m	0,52	0,6	C5 1-2 m (compacté)	1,06	0,9
	0,58	2,6		1,23	0,6
	0,68	16,6		1,42	0,4
	0,95	21,7			

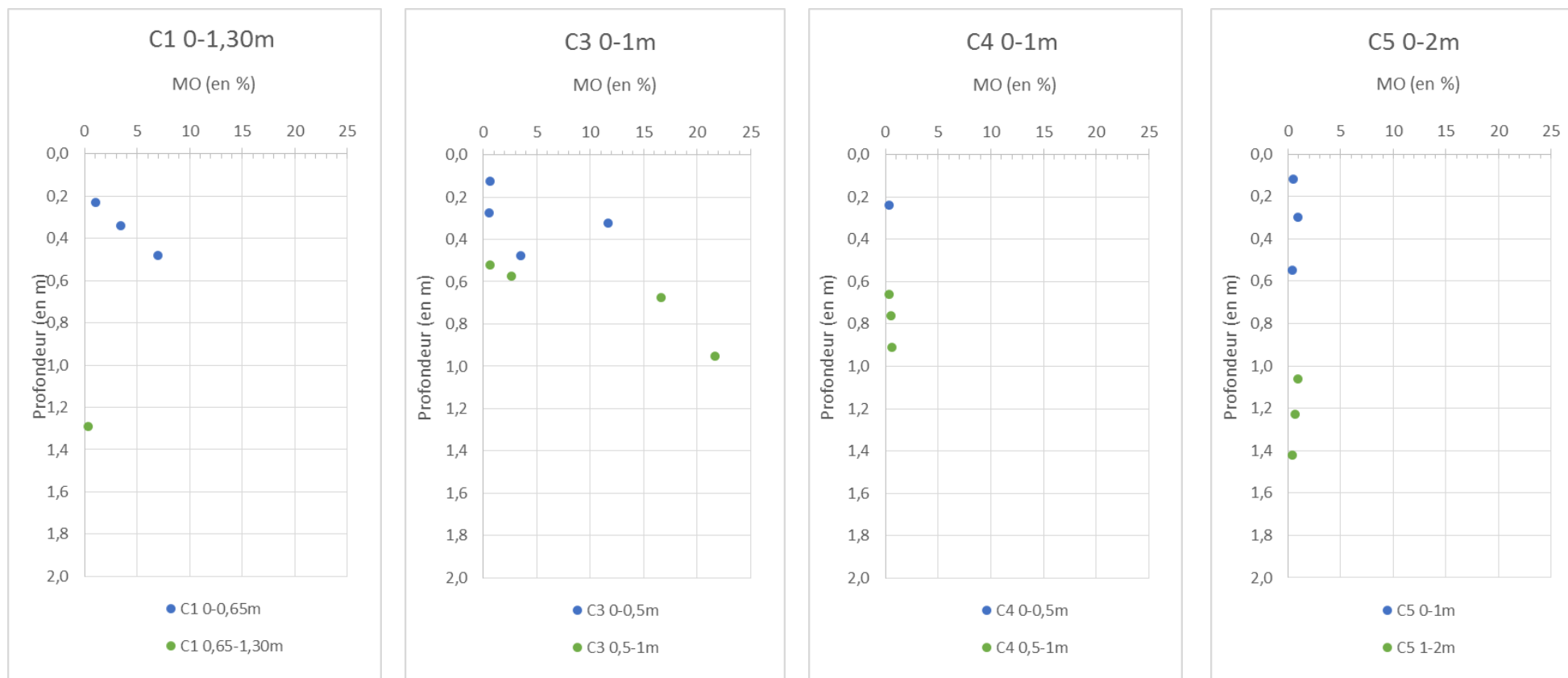
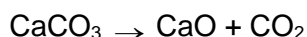


Figure 24 - Teneur en matières organiques

## Carbonates

### Introduction

Le principe consiste à suivre la variation de la masse d'un échantillon en fonction de la température. Entre 550°C et 975°C, il se forme une réaction de décomposition fortement endothermique :



La perte de masse entre ces deux températures est liée à la quantité de CO<sub>2</sub> dégagée par le matériau étudié.

### Résultats

La teneur en carbonate CaCO<sub>3</sub> des matériaux sont données Tableau 9 et sur la Figure 25. Les valeurs obtenues sont globalement faibles pour des sédiments marins ou fluviomarins. Les valeurs les plus élevées sont mesurées pour les matériaux des carottages C1 et C3. La teneur en carbonates mesurées dans les sédiments est souvent principalement liée à la présence d'éléments coquilliers, issus de la vie marine. Les faibles teneurs mesurées ici semblent indiquer que les sédiments sont principalement d'origine terrigène.

Tableau 9 - Teneur en carbonate

Échantillon	Profondeur (m)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Échantillon	Profondeur (m)	CaCO <sub>3</sub> (%)
C1 0-0,65 m	0,23	2,5	C3 < - 3 m NGF haut	-	2,8
	0,34	4,3	C3 < - 3 m NGF bas	-	2,4
	0,48	3,6	C4 0-0,5 m	0,24	1,2
C1 0,65-1,30 m	1,29	1,2	C4 0,5-1 m	0,66	1,2
C2 < - 3 m NGF	-	1,6		0,76	1,7
C3 0-0,5 m	0,13	1,5		0,91	1,4
	0,28	1,6	C5 0-1 m	0,12	1,1
	0,33	4,8		0,3	1,6
	0,48	3,1		0,55	1,1
C3 0,5-1 m	0,52	4,0	C5 1-2 m (compacté)	1,06	1,7
	0,58	3,1		1,23	1,9
	0,68	7,0		1,42	1,1
	0,95	6,3			

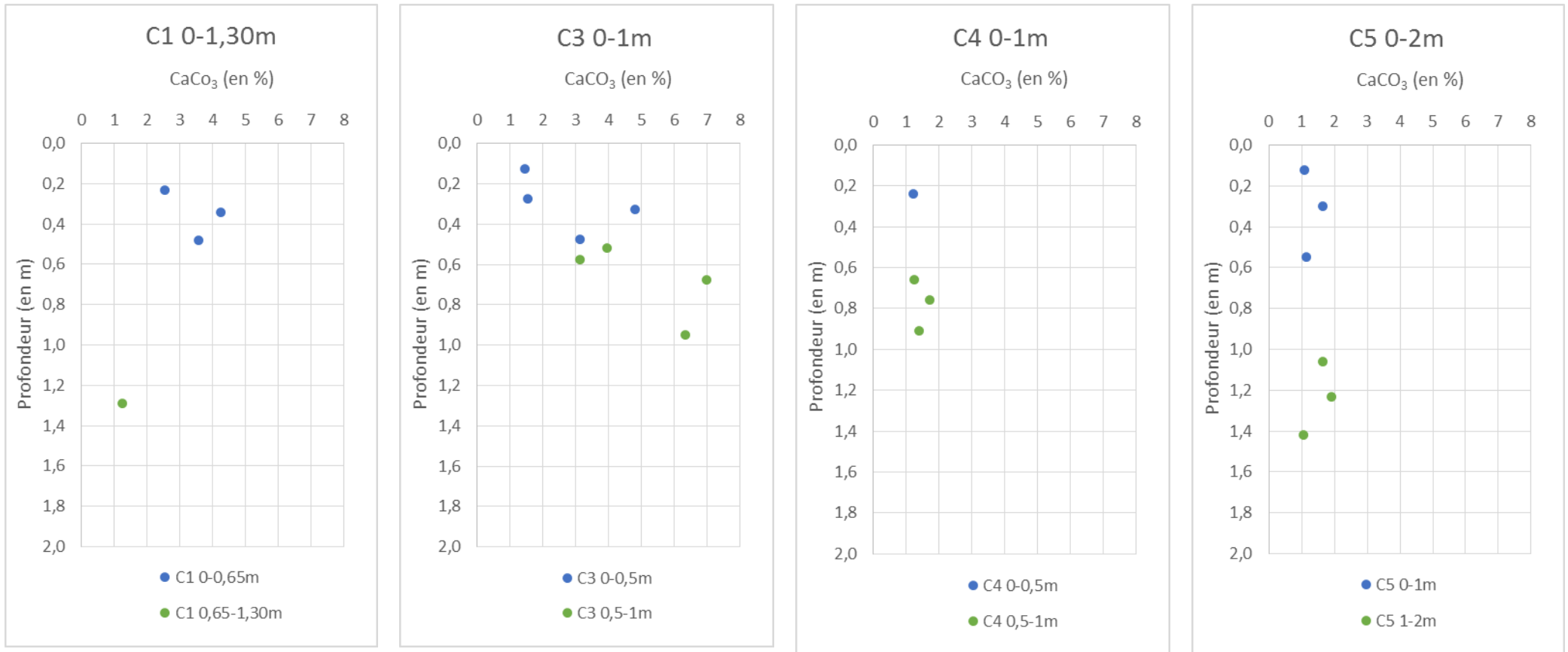


Figure 25 - Teneurs en carbonates



## Analyse de la diffraction des rayons X (DRX)

### Introduction

L'analyse de la diffraction des rayons X permet la détermination des phases minérales présentes dans les matériaux testés.

Les diagrammes de diffraction des rayons X sur poudre ont été enregistrés sur un diffractomètre  $\theta - \theta$  PANalytical X'PERT PRO MPD équipé d'un tube PANalytical à anticathode de Cu (45kV-40mA) filtré par du Ni ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) et d'un détecteur rapide à haute résolution RTMS PANalytical X'Celerator en mode scanning (2.2mm de longueur active). L'analyse de phases des diagrammes obtenus ont ensuite été effectuées à l'aide du logiciel PANalytical X'pert HighScore à partir de la base de données ICDD PDF-2 (2000).

### Résultats

L'ensemble des résultats est donné dans les annexes. Les principales phases identifiées pour chacun des échantillons testés sont synthétisées dans le Tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10 - Résultats des analyses de la diffraction des rayons X

Échantillon	Profondeur	Descriptif visuel	Phases minérales identifiées					
			Quartz	Chlorite	Muscovite	Brookite/ pseudobrookite	Goethite	
C1	C1-0,0-0,65-C	0,35 m	Sable très fin, marron foncé	X	X	x		
	C1-0,0-0,65-A	0,48 m	Sable très fin, et matière organique, noir	X	x	x		
	C1-0,60	0,60 m	Sable très fin ; marron	X	x	x		
	C1-1,30	1,30 m	Sable fin, marron clair	X	x	x		
C2	C2 < -3	< -3 m	Sable fin gris à noir	X	x	x		x
C3	C3-0,01	0,01 m	Sable fin marron	X	x		x	
	C3-0,51	0,51 m	Sable gris clair	X	x	x	x	
	C3-1,00	1,00 m	Vase noire	X	x	x		x
	C3 < -3	< -3 m	Sable fin, gris à noir	X	x		x	
C4	C4-0-0,5	0,13 m	Sable fin, marron	X	x	x		
	C4-0,5-1-B	0,63 m	Sable fin, gris	X	x	x		
C5	C5-0-1-A	0,40 m	Sable moyen et vase noire	X	x	x		
	C5-1-2-A	1,30 m	Sable fin et vase noire	X	x	x		

Les résultats montrent que les éléments quartz, chlorite et muscovite sont quasi-systématiquement présents. On retrouve ponctuellement de l'oxyde de titane (brookite et pseudobrookite) et des oxydes de fer (goethite). Ces résultats ne permettent pas de mettre en évidence de différence entre les différents lieux de prélèvements (Gisèle, dépôt, plage).

## Microscope électronique à balayage (MEB)

### Introduction

Les observations au microscope électronique à balayage permettent une visualisation directe à petite échelle des éléments présents dans les matériaux. Le couplage avec une micro-analyse permet la détermination des éléments atomiques présents sur un point ou une zone observée du matériau. Ceci permet d'avoir des éléments complémentaires aux analyses DRX, notamment.

Les observations et analyses élémentaires ont été effectuées à l'aide d'un microscope électronique à balayage "Hitachi TM-1000". À noter que notre système EDS ne nous permet pas de doser les éléments plus légers que le Sodium (tels que le carbone ou l'oxygène par exemple). L'échantillon a été collé sur disque carbone, lui-même apposé sur un plot aluminium.

### Résultats

L'ensemble des résultats sont disponibles dans les annexes de ce rapport.

Le Tableau 11 ci-dessous synthétise les éléments atomiques présents pour chaque analyse réalisée. On retrouve principalement les espèces chimiques suivantes : aluminium, fer, silicium et potassium. Ces éléments correspondent aux minéraux identifiés par DRX (quartz, muscovite, chlorite et goethite). On retrouve sous forme de traces du soufre, du sodium, du chlore, du magnésium, du calcium et du titane. Ces éléments correspondent à des sels (chlorure de sodium, chlorure de calcium et chlorure de magnésium), à de la brookite (titane), des sulfures de fer (pyrite).

Tableau 11 - Résultats des analyses et micro-analyses au microscope électronique à balayage

Échantillon	Profondeur	Descriptif visuel	Base				Trace						
			Al	Fe	Si	K	S	Na	Cl	Mg	Ca	Ti	
C1	C1-0,0-0,65-C	0,35 m	Sable très fin, marron foncé	x	x	x	x	x	x	x			x
	C1-0,0-0,65-A	0,48 m	Sable très fin, et matière organique, noir	x	x	x	x	x		x	x		x
	C1-0,60	0,60 m	Sable très fin ; marron	x	x	x	x	x		x		x	x
	C1-1,30	1,30 m	Sable fin, marron clair	x	x	x	x		x	x	x		x
C2	C2 < -3	< - 3 m	Sable fin gris à noir	x	x	x	x	x	x	x			
C3	C3-0,01	0,01 m	Sable fin marron	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	C3-0,51	0,51 m	Sable gris clair	x	x	x	x	x	x	x			x

	C3-1,00	1,00 m	Vase noire	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	C3 < -3	< -3 m	Sable fin, gris à noir	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
C4	C4-0-0,5	0,13 m	Sable fin, marron	x	x	x	x		x	x			
	C4-0,5-1-B	0,63 m	Sable fin, gris	x	x	x	x		x	x			x
C5	C5-0-1-A	0,40 m	Sable moyen et vase noire	x	x	x	x	x		x	x	x	
	C5-1-2-A	1,30 m	Sable fin et vase noire	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Les pourcentages atomiques moyens calculés sont synthétisés Figure 26.

On note que l'aluminium est plus présent dans le dépôt sédimentaire (en C3 et C1) que dans la rivière (C5) ou sur la place (C4). L'élément aluminium est principalement présent dans les matériaux fins de type argile, et les fortes teneurs obtenues en C3 et C1 correspondraient ainsi à l'accumulation de matériaux fins transportés depuis la rivière vers la zone de dépôt.

La silice est présente dans les argiles, et également dans le quartz (sable). Ainsi, on retrouve logiquement une présence plus importante en C4 (plage). Les quantités plus importantes en C1, C3 qu'en C5 (rivière) s'explique par l'accumulation de matériaux fins (plus argileux) dans cette zone comme observé à partir des mesures précédentes (granulométrie, teneur en matière organique notamment).

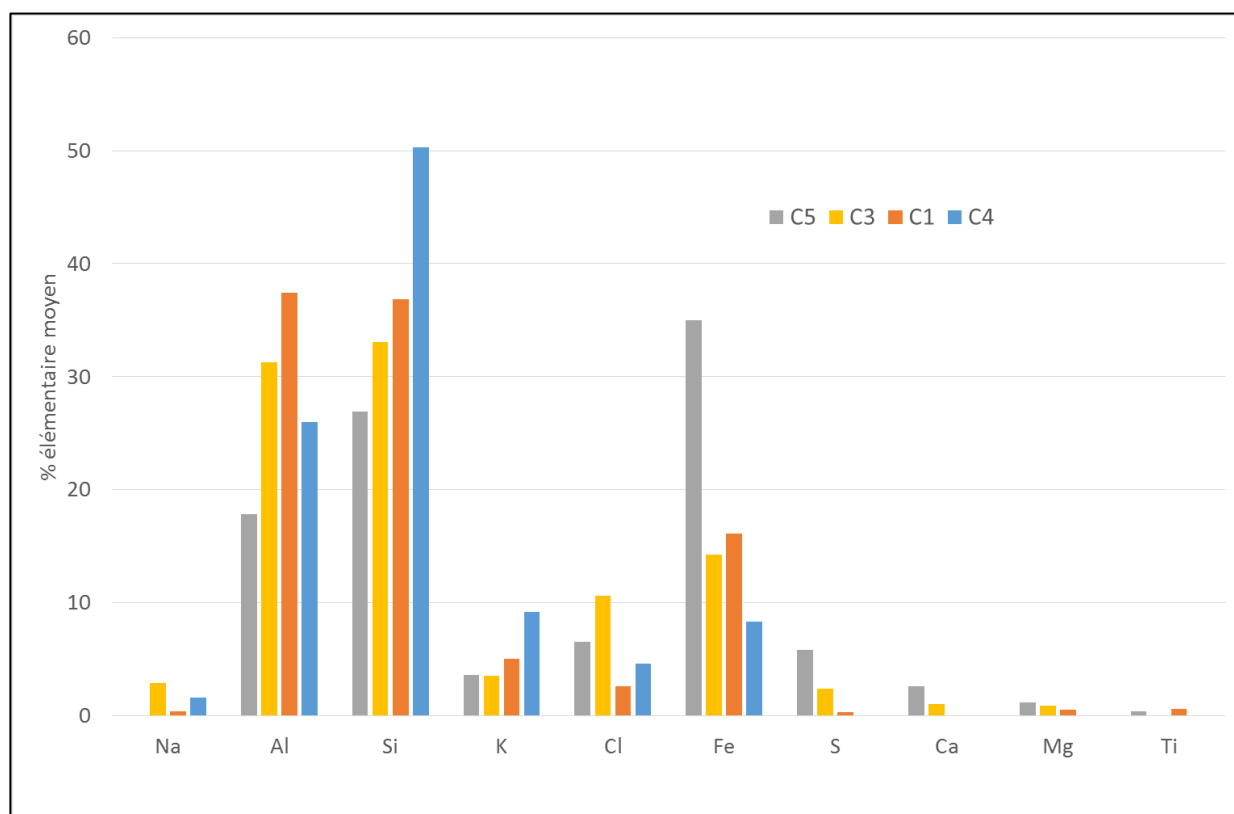


Figure 26 - Pourcentage atomique moyen par carottage

On note également de très fortes teneurs en fer (goethite et pyrite framboïdale identifiée visuellement sur les observations MEB). Les teneurs les plus importantes sont obtenues dans la rivière (C5), et les plus faibles sur la plage. Au niveau du dépôt (C1 et C3), on a des valeurs intermédiaires, ce qui indique qu'une partie du fer provient du transport sédimentaire de la rivière. Ceci est confirmé par la teneur en soufre en C5, que l'on retrouve en C3 et C1 également. Il s'agit très probablement de pyrites transportées par la Giscle.

## Analyse thermique différentielle et analyse thermogravimétrique (ATD/ATG)

### Introduction

L'Analyse Thermique Différentielle (ATD) et l'Analyse ThermoGravimétrique (ATG) permettent l'étude des comportements thermodynamiques des matériaux et sont utilisées simultanément. Au cours d'une variation de la température, les matériaux subissent potentiellement des changements de phases chimiques qui conduisent à une recomposition de la matière et éventuellement de son état structural. Dans la majeure partie des cas, ces changements s'opèrent avec variation de masse et/ou variation de la quantité de chaleur. Dans ce dernier cas, on distingue les réactions exothermiques (elles produisent une quantité de chaleur au cours de la transformation), des réactions endothermiques (elles absorbent une quantité de chaleur au cours de la transformation).

La méthode ATG (analyse thermogravimétrique) consiste à suivre la variation de masse d'un échantillon avec une microbalance en fonction de la température et du temps dans une atmosphère contrôlée et de détecter par la suite la présence des composés chimiques présents à une certaine température.

Deux effets peuvent être observés :

- Augmentation de masse qui peut être due globalement à une densification ou décomposition de la matière
- Diminution de masse qui peut être due à une oxydation de la matière.

Ces méthodes sont couramment utilisées dans le domaine de la caractérisation physico chimique des matériaux naturels en compléments des analyses de la diffraction des rayons X et des observations en microscopie à balayage.

### Résultats

Les résultats complets des analyses ATD/ATG sont donnés en annexes. L'évolution de la perte de masse montre une première diminution entre 20 et 200°C, associée à un phénomène endothermique, traduisant le départ de l'eau hygroscopique et de la matière organique. Ensuite, dans la majorité des cas, on observe sur la courbe thermique différentielle un premier accident endothermique, aux environs de 550° à 600°C, suivi d'un second accident vers 750°C. Ces deux éléments sont typiques du comportement des argiles de type chlorite. Le premier phénomène endothermique (550-600°C) correspond à la déshydratation de la couche brucitique. Ce phénomène se traduit par une perte de masse sur la courbe de perte de masse. Le second phénomène, vers 750°C, correspond à la décomposition du feuillet mica, et est là encore associée à une perte de masse.

Les pertes de masses mesurées d'une part entre 25 et 200°C, et d'autre part entre 300 et 950°C sont données dans le Tableau 12.

On note des différences significatives entre les pertes de masses mesurées à basse température (25-200°C) pour les différents prélèvements. Les échantillons étant préparée de façon identique, cette différence est imputable à un élément autre que la perte d'eau hygroscopique. Pour les échantillons issus du carottage C3, les fortes valeurs peuvent être attribuées à la présence de matières organiques en quantité plus importante que les autres prélèvements comme mesuré précédemment.

La seconde perte de masse, mesurée entre 300 et 950°C est donc principalement lié à la présence de minéraux argileux de type chlorite. Le prélèvement présentant la plus forte perte de masse (C1-0,60 m) correspond à un échantillon contenant un fort taux d'argile de type chlorite.

Tableau 12 - Résultats des analyses thermiques différentielles et thermogravimétriques

Échantillon		Profondeur	Descriptif visuel	∅m 25°C - 200°C (%)	∅m 300°C- 900°C (%)
C1	C1-0,0-0,65-C	0,35 m	Sable très fin, marron foncé	25,8	2,4
	C1-0,0-0,65-A	0,48 m	Sable très fin, et matière organique, noir	34,4	3,7
	C1-0,60	0,60 m	Sable très fin ; marron	45,4	22,3
	C1-1,30	1,30 m	Sable fin, marron clair	4,0	1,0
C2	C2 < -3	< -3 m	Sable fin gris à noir	0,5	1,8
C3	C3-0,01	0,01 m	Sable fin marron	7,7	0,5
	C3-0,51	0,51 m	Sable gris clair	20,1	1,2
	C3-1,00	1,00 m	Vase noire	40,9	8,8
	C3 < -3	< -3 m	Sable fin, gris à noir	0,4	1,5
C4	C4-0-0,5	0,13 m	Sable fin, marron	10,4	0,7
	C4-0,5-1-B	0,63 m	Sable fin, gris	21,2	1,0
C5	C5-0-1-A	0,40 m	Sable moyen et vase noire	14,1	2,0
	C5-1-2-A	1,30 m	Sable fin et vase noire	30,5	4,7

## Conclusions

Ce rapport présente l'analyse d'un dépôt sédimentaire situé à l'embouchure du fleuve « La Giscle » au niveau de port Grimaud, dans le département du Var. L'objectif est d'analyser la nature des matériaux déposer afin de déterminer leur origine, fluviale ou maritime.

Des analyses physico-chimiques et minéralogiques des sédiments prélevés dans le dépôt sédimentaire ainsi que de sédiments prélevés en amont dans le fleuve La Giscle (domaine fluvial), et à proximité sur une plage (domaine maritime) ont été menées.

Les analyses granulométriques ont montré que les sédiments sont globalement sablo-graveleux, avec une partie argileuse faiblement présente. Ceux prélevés dans le fleuve présentent une granulométrie plus grossière, et surtout une présence plus faible d'éléments fins qui semblent avoir été transportés. Ils sont pauvres en matières organiques, sauf au niveau du dépôt sédimentaire, à l'interface du domaine fluvio-maritime. Les teneurs en carbonates mesurées sont faibles pour des sédiments marins.

L'analyse de la diffraction des rayons X a mis en évidence la présence de quartz, de chlorite et de muscovite, ainsi que, ponctuellement et en faible quantité, des oxydes de titanes. La composition minéralogique globale ne montre pas de différence significative entre les différents domaines (fluvial, maritime, dépôt sédimentaire). En revanche, les observations et micro analyses au microscope électronique à balayage ont montré que l'on retrouve dans le dépôt sédimentaire des éléments (argile, oxydes de fer) provenant principalement du domaine fluvial, et pour certains (oxydes de fer) absent du domaine maritime.

L'ensemble des analyses (teneur en eau, en matière organiques, analyses granulométriques, analyses MEB) concordent et indiquent que le dépôt sédimentaire situé à l'interface du domaine fluvio-maritime, est une zone d'accumulation d'éléments fins et organiques, transportés par le fleuve « La Giscle » et provenant ainsi principalement du domaine fluvial.

## Annexes

**INSA** | INSTITUT NATIONAL  
DES SCIENCES  
APPLIQUÉES  
RENNES

# ANNEXES

Rapports d'analyses chimiques

6 Juillet 2017

## Rapport d'Analyse CISMA\_001

---

**Essai réalisé sur :** **A la demande de :** Malalaso Rodomond / Damien Rangeard, PFT  
8 échantillons  
Réception de la demande : 30 mars 2017      Réception des échantillons : 30 mars 2017

---

<b>Échantillons :</b>	C1-1,30	C4-0-0,5
	C1-0,60	C4-0,5-1-B
	C1-0,0-0,65-A	C5-0-1-A
	C1-0,0-0,65-C	C5-1-2-A

---

### Nature des essais

Déterminer les composants de chacun de ces 8 échantillons.

---

### Diffraction des rayons X.

Les diagrammes de diffraction des rayons X sur poudre ont été enregistrés sur un diffractomètre  $\theta-\theta$  PANalytical X'PERT PRO MPD équipé d'un tube PANalytical à anticathode de Cu (45kV-40mA) filtré par du Ni ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) et d'un détecteur rapide à haute résolution RTMS PANalytical X'Celerator en mode scanning (2.2mm de longueur active).

Les diagrammes ainsi obtenus en 1h sont rapportés sur les figures ci-dessous.

Des analyses de phases de ce diagramme ont ensuite été effectuées à l'aide du logiciel PANalytical X'pert HighScore à partir de la base de données ICDD PDF-2 (2000).

### Observations MEB, analyses élémentaires.

Les observations et analyses élémentaires ont été effectuées à l'aide du microscope électronique à balayage "Hitachi TM-1000". A noter que notre système EDS ne nous permet pas de doser les éléments plus légers que le Sodium (tels que le Carbone ou l'Oxygène par exemple). L'échantillon a été collé sur disque carbone, lui-même apposé sur un plot aluminium.

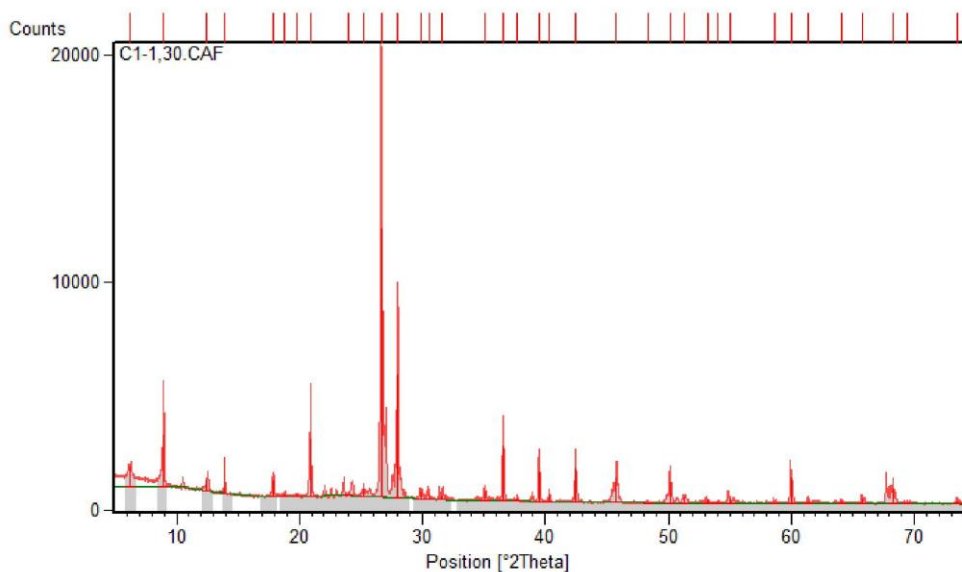
### Analyse Thermique.

L'analyse thermique a été effectuée à l'aide d'une ATG Pyris Perkin Elmer sur cet échantillon dans une nacelle en Platine. Elle a été effectuée sous diazote entre 25 et 950°C avec une rampe de chauffe de  $300^\circ\text{C}^{-1}$  suivi d'un palier de 15 minutes, sous air synthétique à 950°C.



**C1-1,30**

**DRX**



**Figure 1.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C1-1,30.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

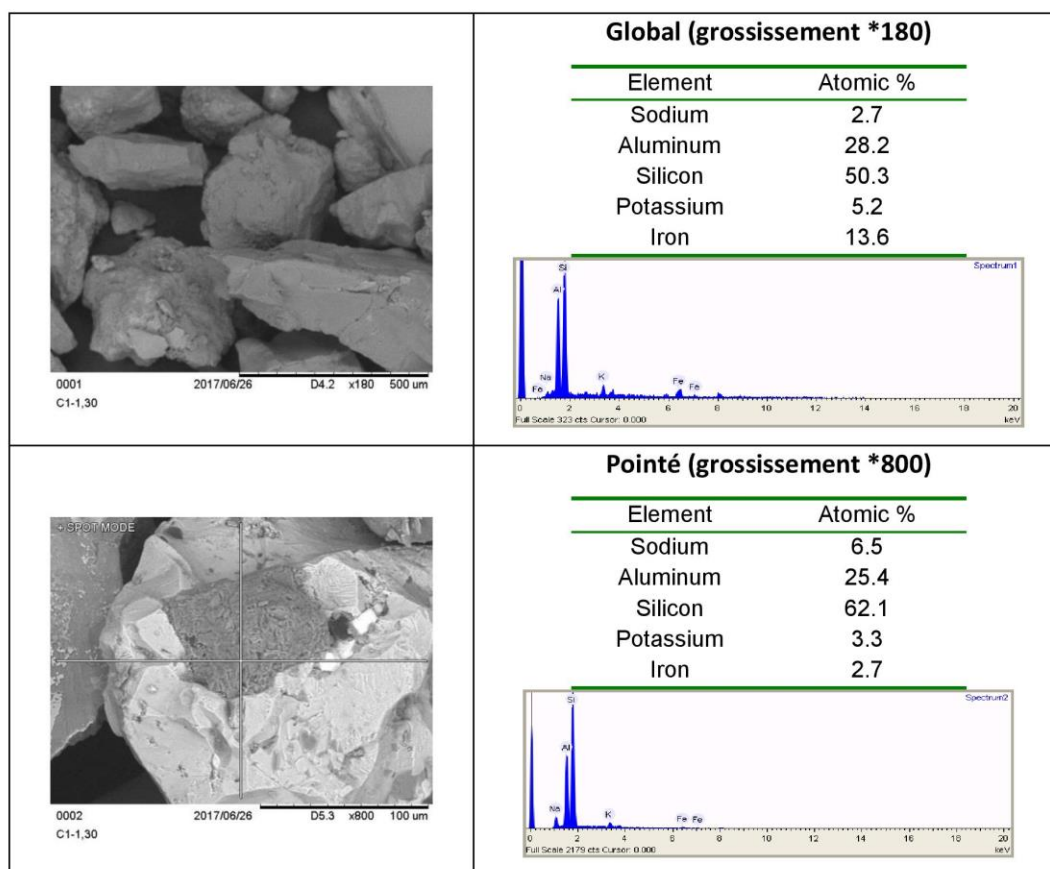
Tableau d'indexation:

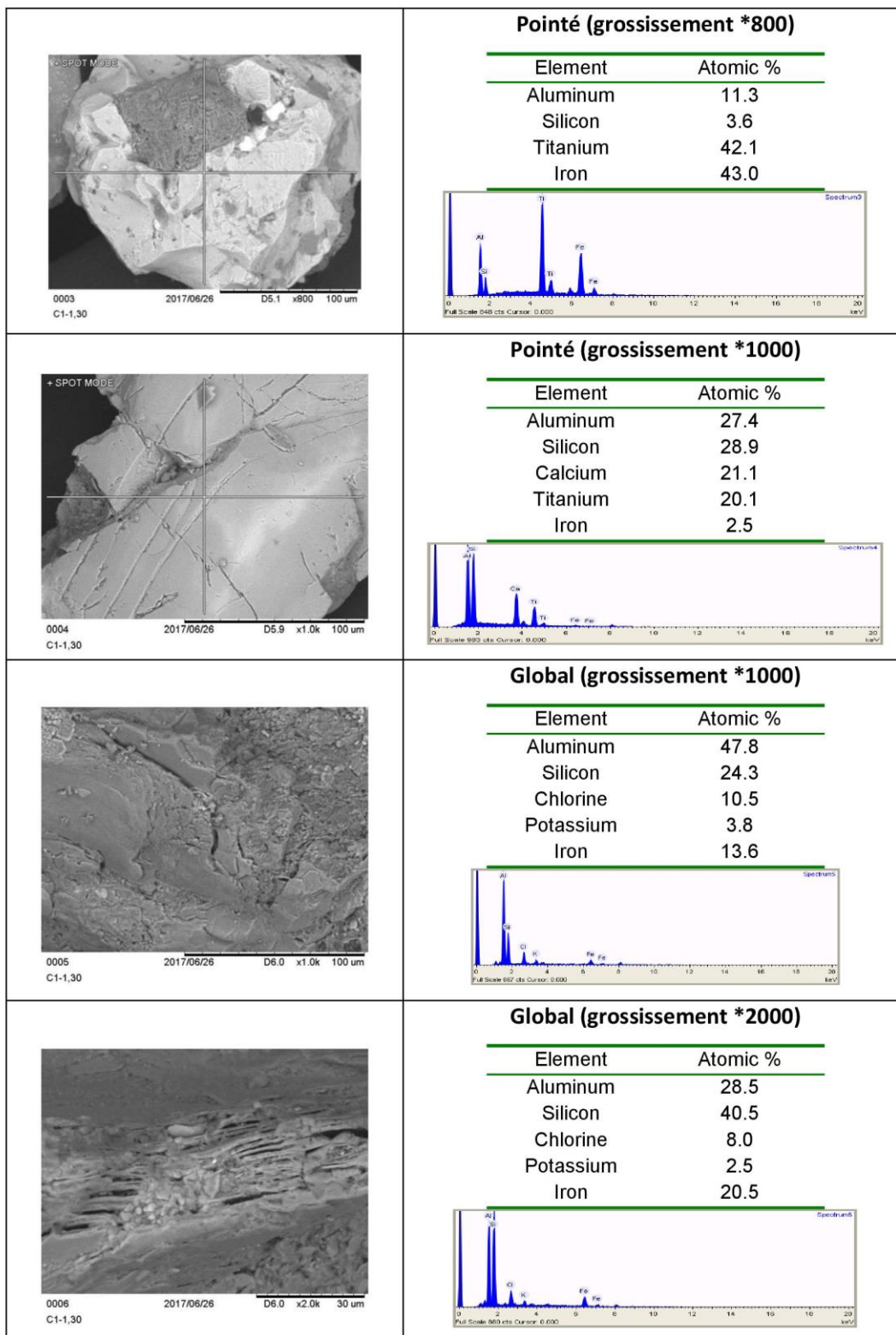
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
6.2198	14.21041	7.87	72-1234
8.8962	9.94044	19.44	84-1303
12.4835	7.09077	4.15	72-1234
13.9217	6.36131	13.62	82-1561
17.867	4.96456	6.31	84-1303
18.7676	4.7283	1.17	72-1234
19.8101	4.48177	0.84	72-1234; 84-1303
20.8907	4.25234	21.85	72-1234; 84-1303; 82-1561
23.9704	3.71251	0.63	72-1234; 84-1303
25.1906	3.53538	2.9	72-1234; 84-1303
26.7162	3.33686	100	72-1234; 84-1303; 82-1561
27.9949	3.18728	46.05	72-1234; 84-1303; 82-1561
29.8512	2.99318	2.99	84-1303; 82-1561
30.5496	2.92633	2.05	72-1234; 82-1561
31.5346	2.83713	1.88	72-1234; 84-1303
35.1271	2.55477	3.48	72-1234; 84-1303; 82-1561
36.5843	2.45629	20.64	72-1234; 84-1303
37.6529	2.389	0.98	72-1234; 84-1303

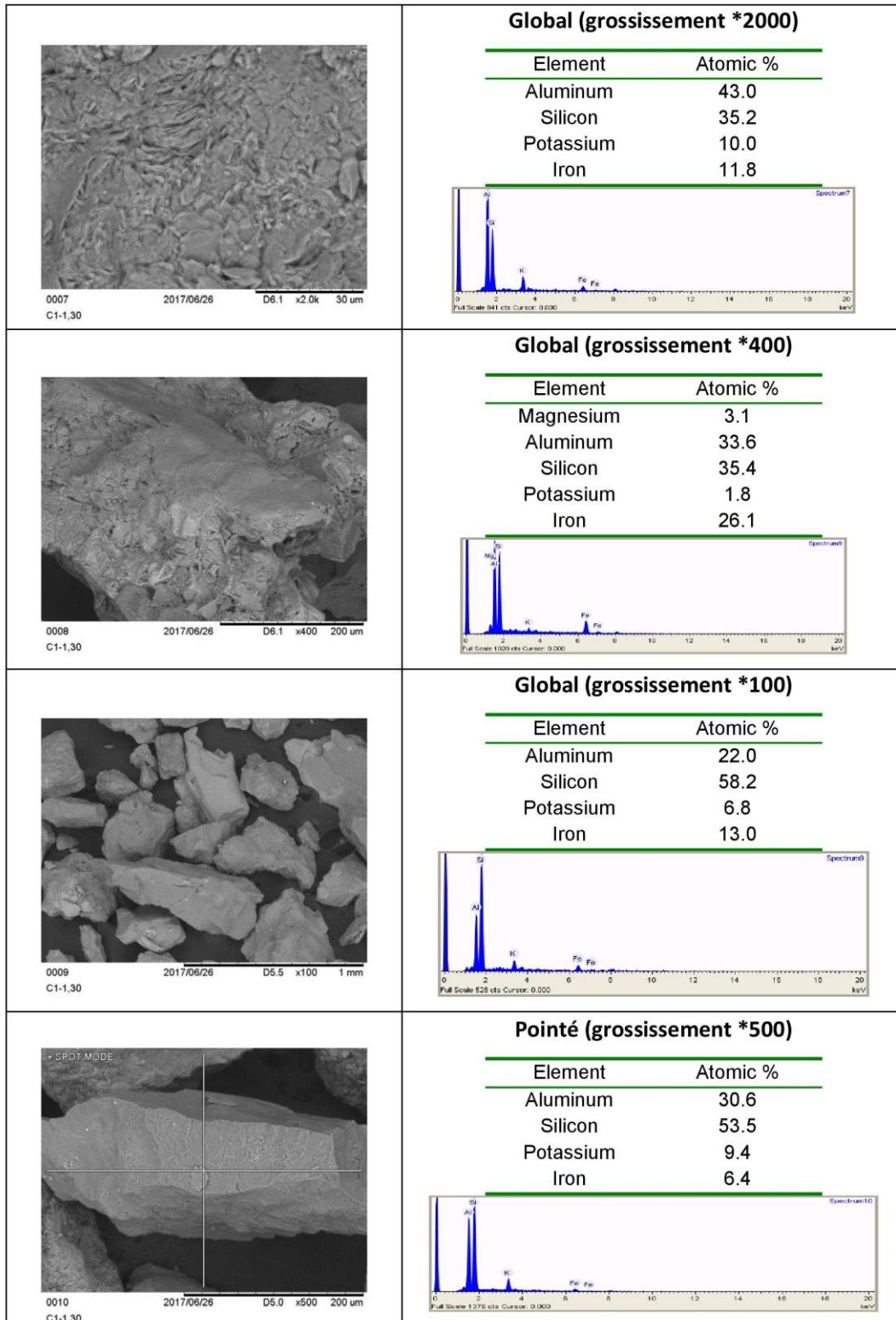
39.5133	2.2807	11.04	72-1234; 84-1303; 82-1561
40.3159	2.23713	2.74	72-1234; 84-1303; 82-1561
42.4859	2.12776	13.11	72-1234; 84-1303; 82-1561
45.7307	1.98405	9.37	84-1303; 82-1561
48.3221	1.88354	0.41	72-1234; 84-1303; 82-1561
50.1101	1.82044	8.16	72-1234; 82-1561
51.2648	1.78212	2.34	72-1234; 84-1303
53.1667	1.72277	1.24	72-1234; 84-1303; 82-1561
54.017	1.69764	0.62	72-1234; 84-1303; 82-1561
55.083	1.66728	1.65	72-1234; 84-1303; 82-1561
58.7129	1.57257	0.53	72-1234; 84-1303; 82-1561
59.9841	1.54225	9.81	72-1234; 84-1303; 82-1561
61.3708	1.51068	0.79	72-1234; 84-1303; 82-1561
64.0665	1.45347	0.88	72-1234; 84-1303; 82-1561
65.8104	1.41912	1.87	72-1234; 84-1303; 82-1561
68.2421	1.37436	5.57	72-1234; 84-1303; 82-1561
69.4076	1.3541	0.61	72-1234; 84-1303; 82-1561
73.5351	1.2869	1.43	72-1234; 84-1303; 82-1561

Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz.

**MEB :**







ATG :

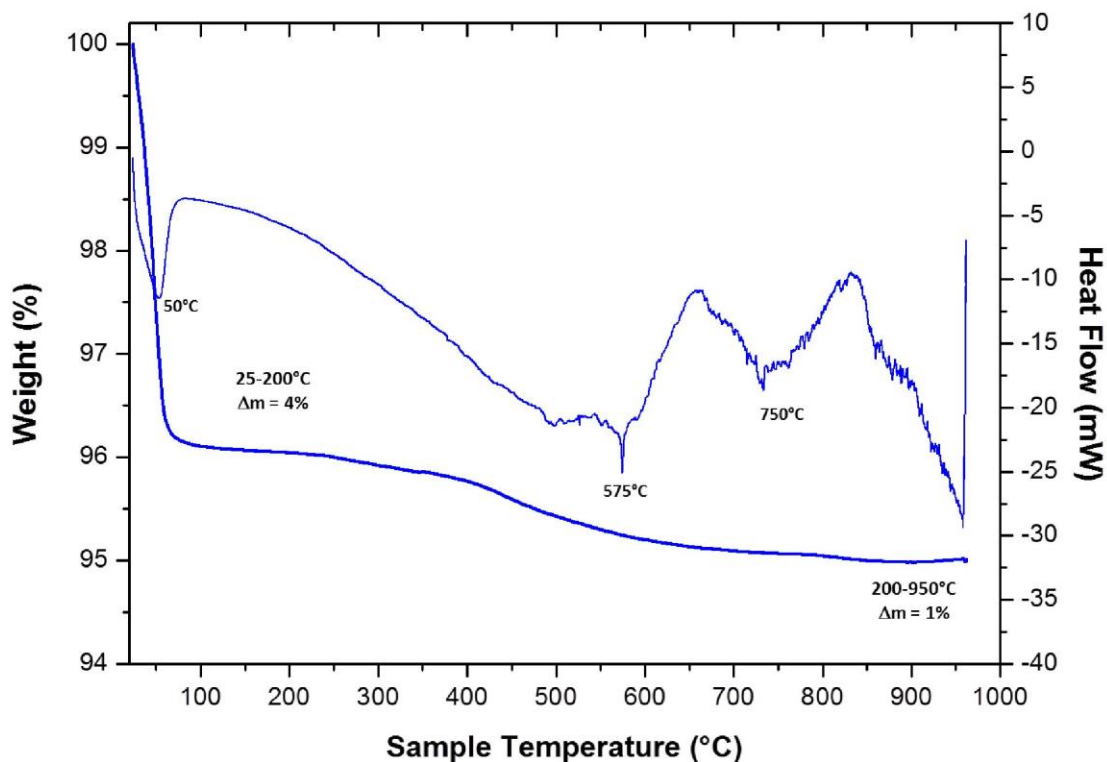
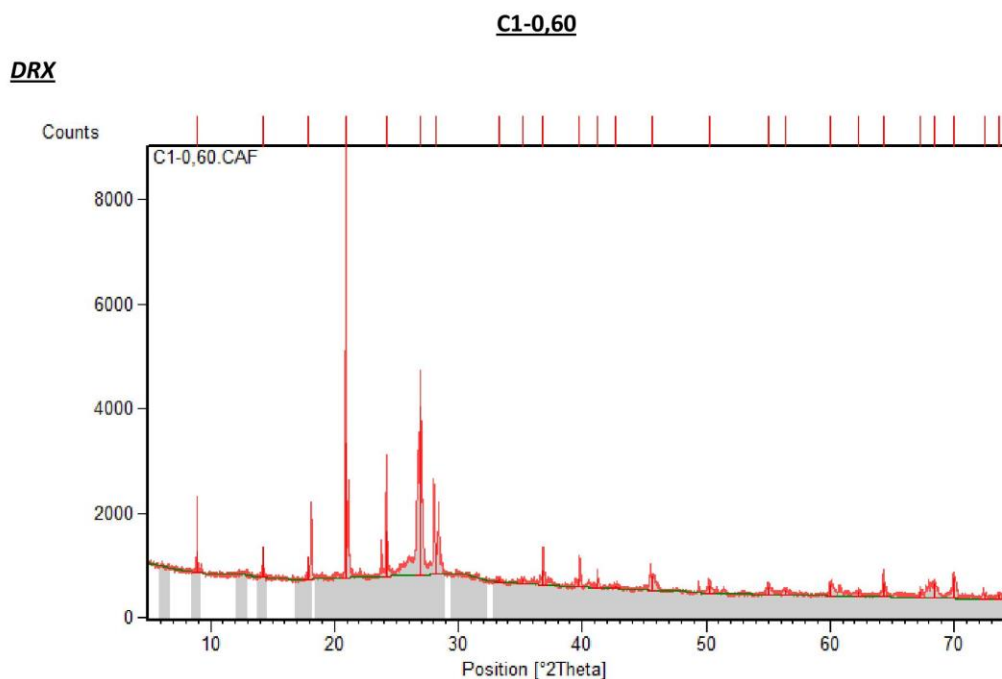


Figure 2. ATG de l'échantillon C1-1,30.

Nous observons une première perte de masse d'environ 4%, centrée sur 50°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 1% entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Sodium, Chlore, Magnésium et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 4\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 1\%$



**Figure 3.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C1-0,60.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

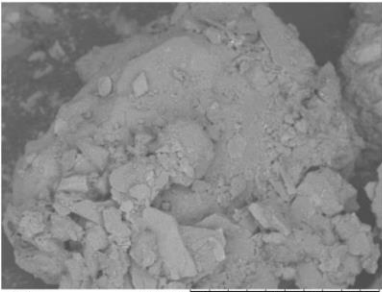
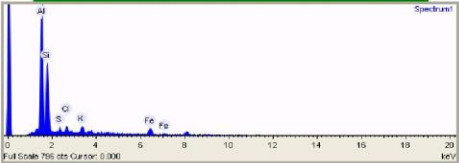
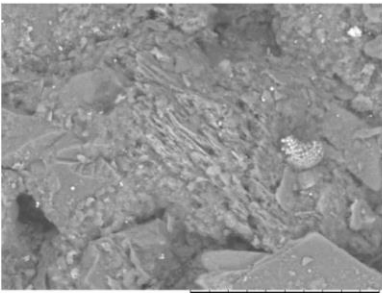
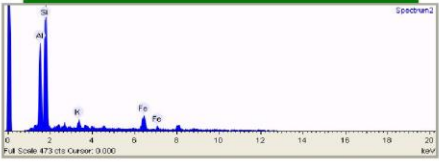
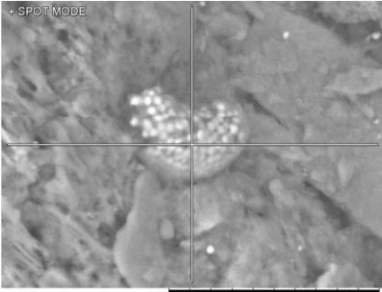
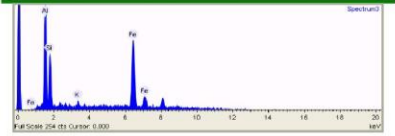
Tableau d'indexation:

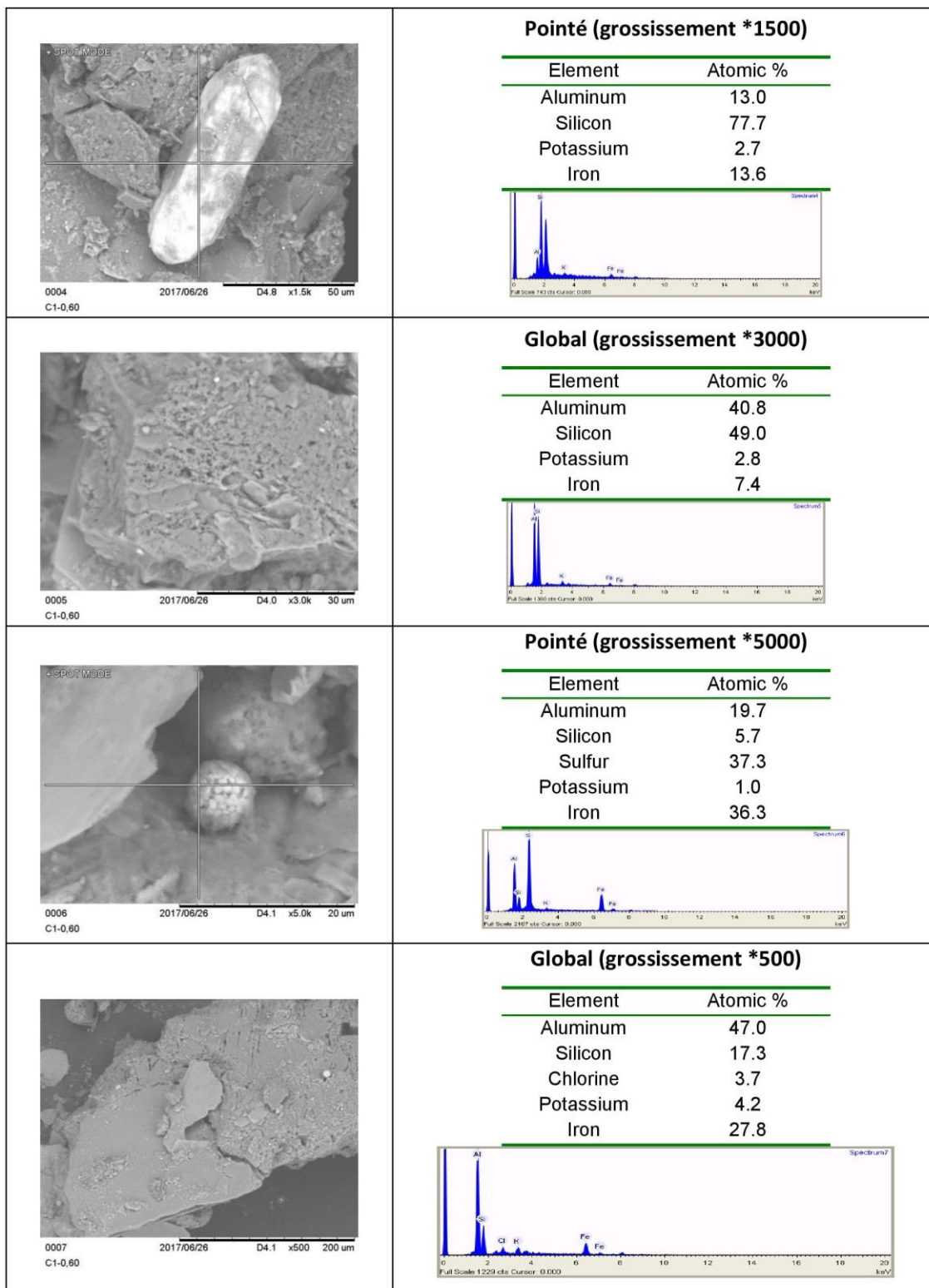
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
8.9302	9.90257	13.12	84-1303
14.2092	6.23327	18.53	82-1561
17.8844	4.95976	13.55	84-1303
20.9828	4.23037	80.05	72-1234; 82-1561
24.2662	3.6649	27.12	72-1234
26.9716	3.30311	100	72-1234; 84-1303
28.1612	3.16622	18.77	72-1234; 84-1303; 82-1561
33.232	2.69377	2.34	72-1234; 84-1303
35.252	2.5439	2.9	72-1234; 84-1303; 82-1561
36.8092	2.43978	8.84	72-1234; 84-1303
39.7197	2.26745	5.32	72-1234; 84-1303; 82-1561
41.2352	2.18755	5.87	72-1234; 84-1303; 82-1561
42.7119	2.11527	2.04	72-1234; 84-1303; 82-1561
45.6571	1.98544	9.17	84-1303; 82-1561
50.2939	1.81272	4.79	72-1234; 82-1561
55.0062	1.66805	4.69	72-1234; 84-1303; 82-1561
56.3834	1.63053	3.18	72-1234; 84-1303; 82-1561

60.0561	1.53929	7.12	72-1234; 84-1303; 82-1561
62.3236	1.48863	3.53	72-1234; 84-1303; 82-1561
64.3075	1.4474	8.87	72-1234; 84-1303; 82-1561
67.2342	1.39133	4.5	72-1234; 84-1303; 82-1561
68.4298	1.36991	9.57	72-1234; 84-1303; 82-1561
70.0007	1.34296	12.68	72-1234; 84-1303; 82-1561
72.4325	1.30375	3.47	72-1234; 84-1303; 82-1561
73.6502	1.28517	3.51	72-1234; 84-1303; 82-1561

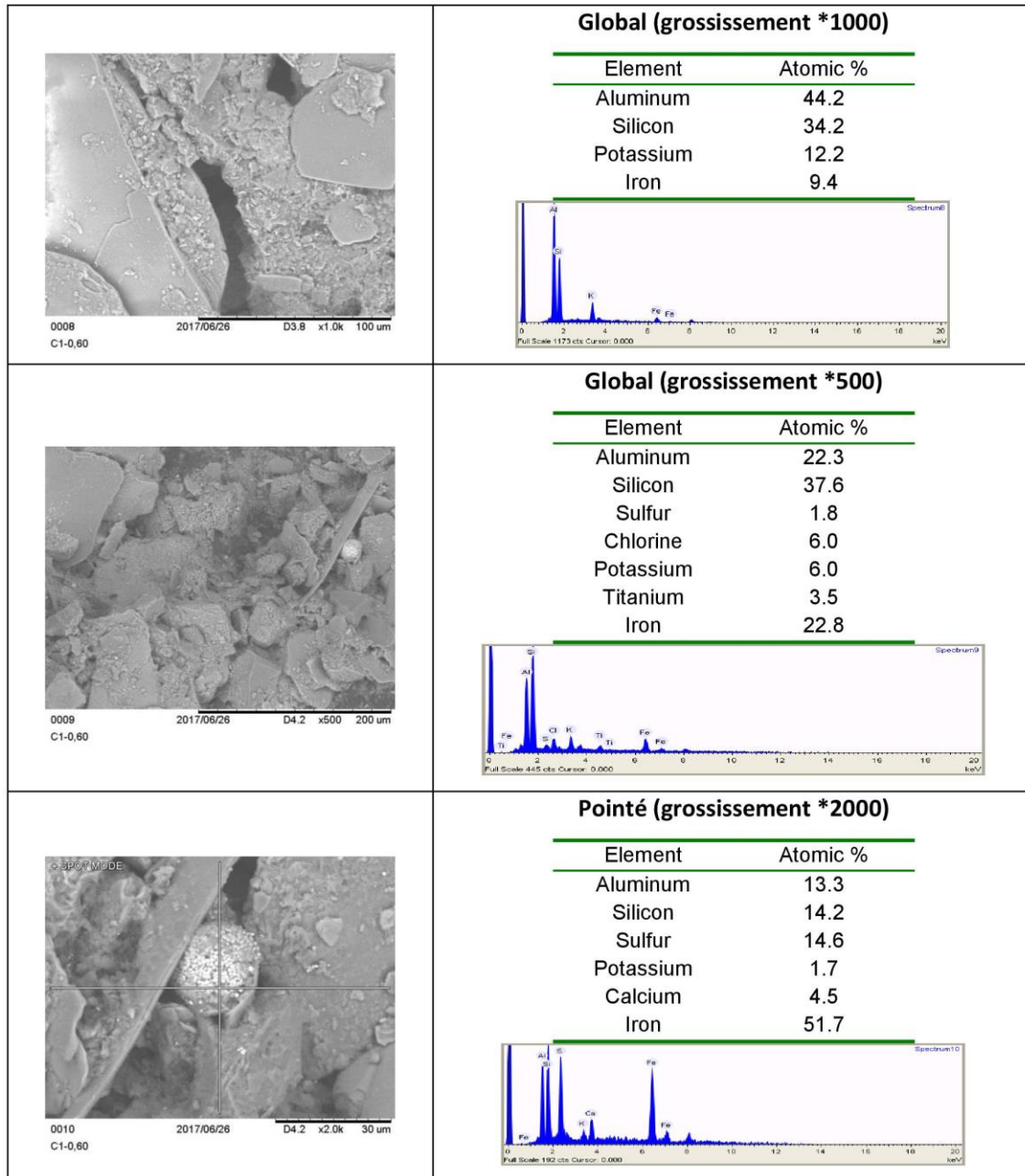
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz.

**MEB :**

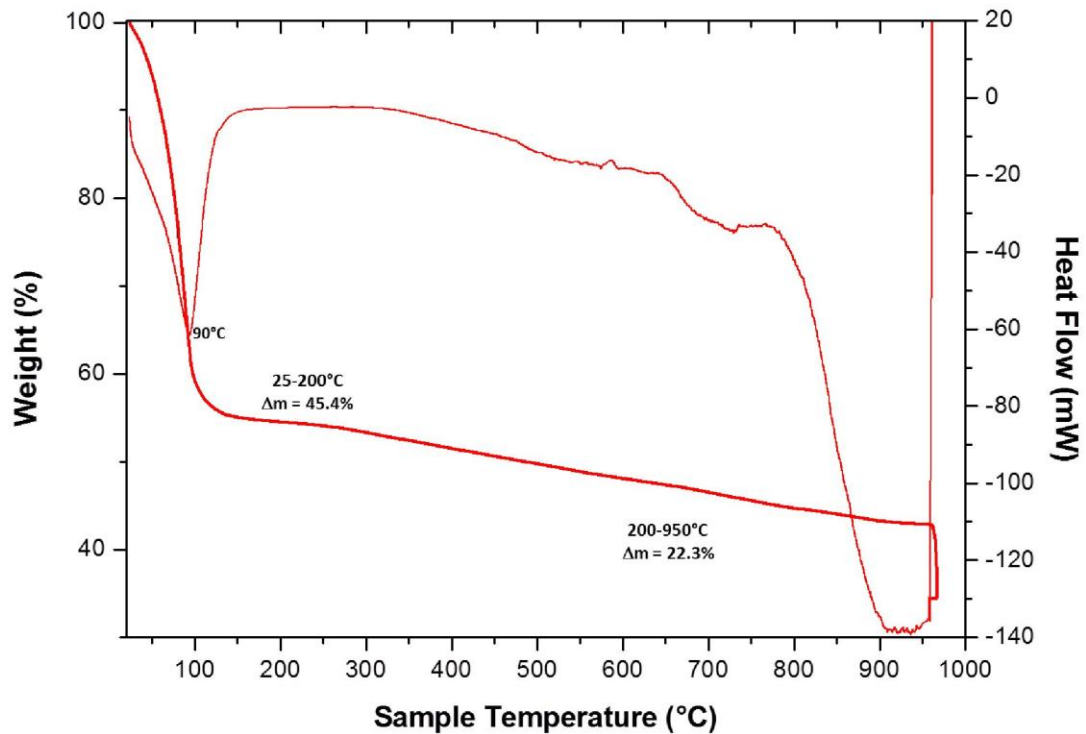
 <p>0001 2017/06/26 D3.9 x180 500 um C1-0,60</p>	<p><b>Global (grossissement *180)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>44.2</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>33.0</td> </tr> <tr> <td>Sulfur</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>3.8</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>13.7</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	44.2	Silicon	33.0	Sulfur	2.0	Chlorine	3.3	Potassium	3.8	Iron	13.7
Element	Atomic %														
Aluminum	44.2														
Silicon	33.0														
Sulfur	2.0														
Chlorine	3.3														
Potassium	3.8														
Iron	13.7														
 <p>0002 2017/06/26 D5.0 x1.8k 50 um C1-0,60</p>	<p><b>Global (grossissement *1800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>26.1</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>45.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>24.5</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	26.1	Silicon	45.5	Potassium	3.9	Iron	24.5				
Element	Atomic %														
Aluminum	26.1														
Silicon	45.5														
Potassium	3.9														
Iron	24.5														
 <p>0003 2017/06/26 D5.0 x5.0k 20 um C1-0,60</p>	<p><b>Pointé (grossissement *5000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>23.7</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>12.4</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>62.5</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	23.7	Silicon	12.4	Potassium	1.4	Iron	62.5				
Element	Atomic %														
Aluminum	23.7														
Silicon	12.4														
Potassium	1.4														
Iron	62.5														







**ATG :**



**Figure 4.** ATG de l'échantillon C1-0,60.

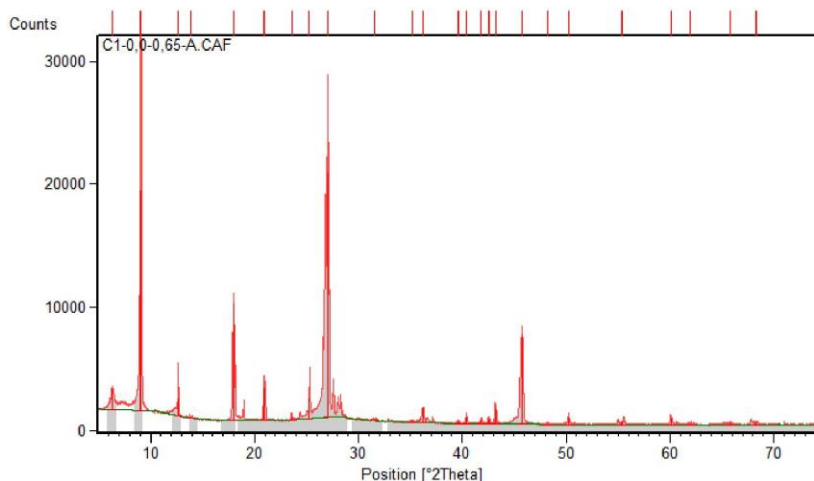
Nous observons une première perte de masse importante d'environ 45%, centrée sur 90°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 22 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Soufre, Chlore, Calcium et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 45.4\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 22.3\%$

**C1-0,0-0,65-A**

**DRX**



**Figure 5.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C1-0,0-0,65-A.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

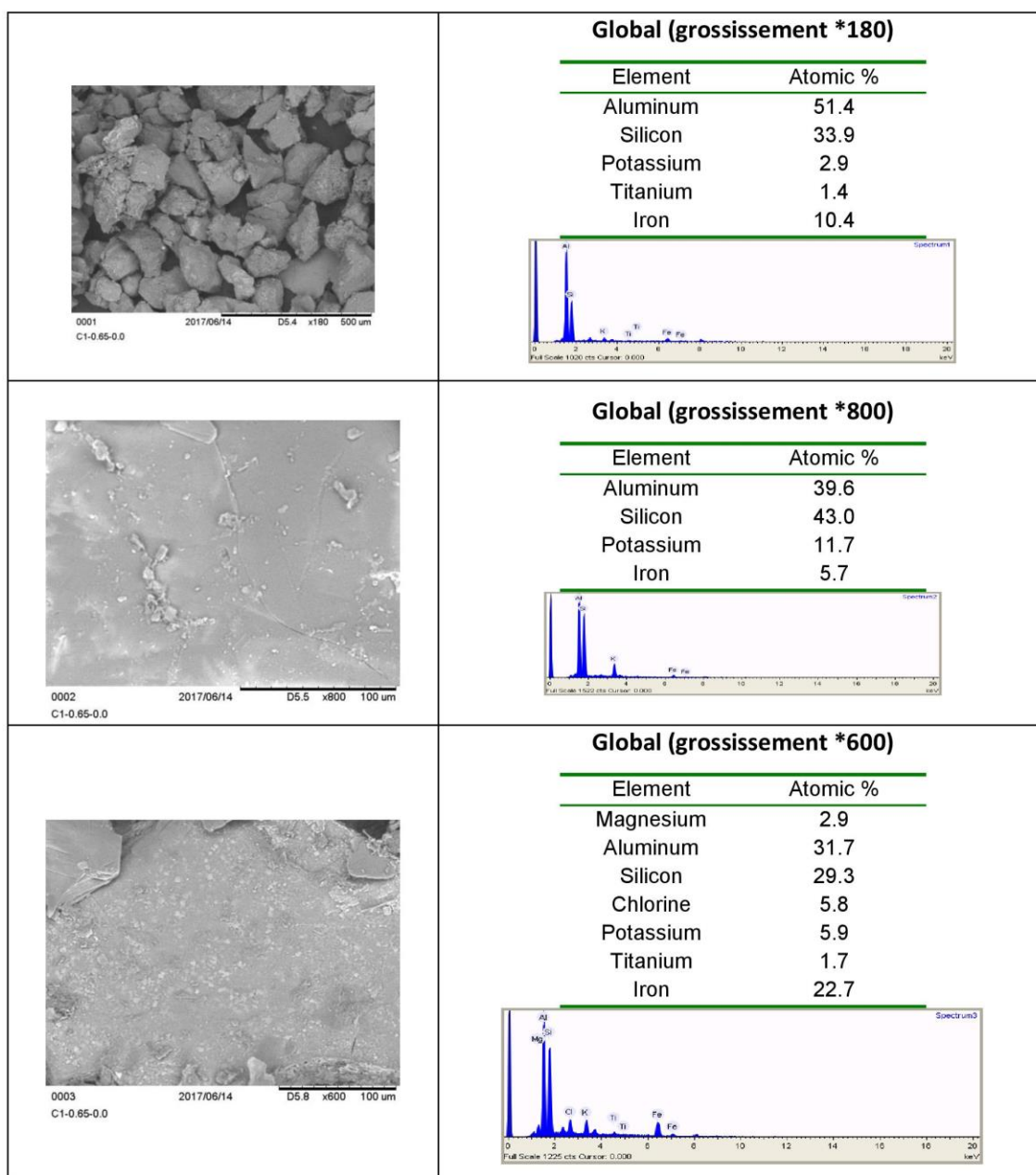
Tableau d'indexation:

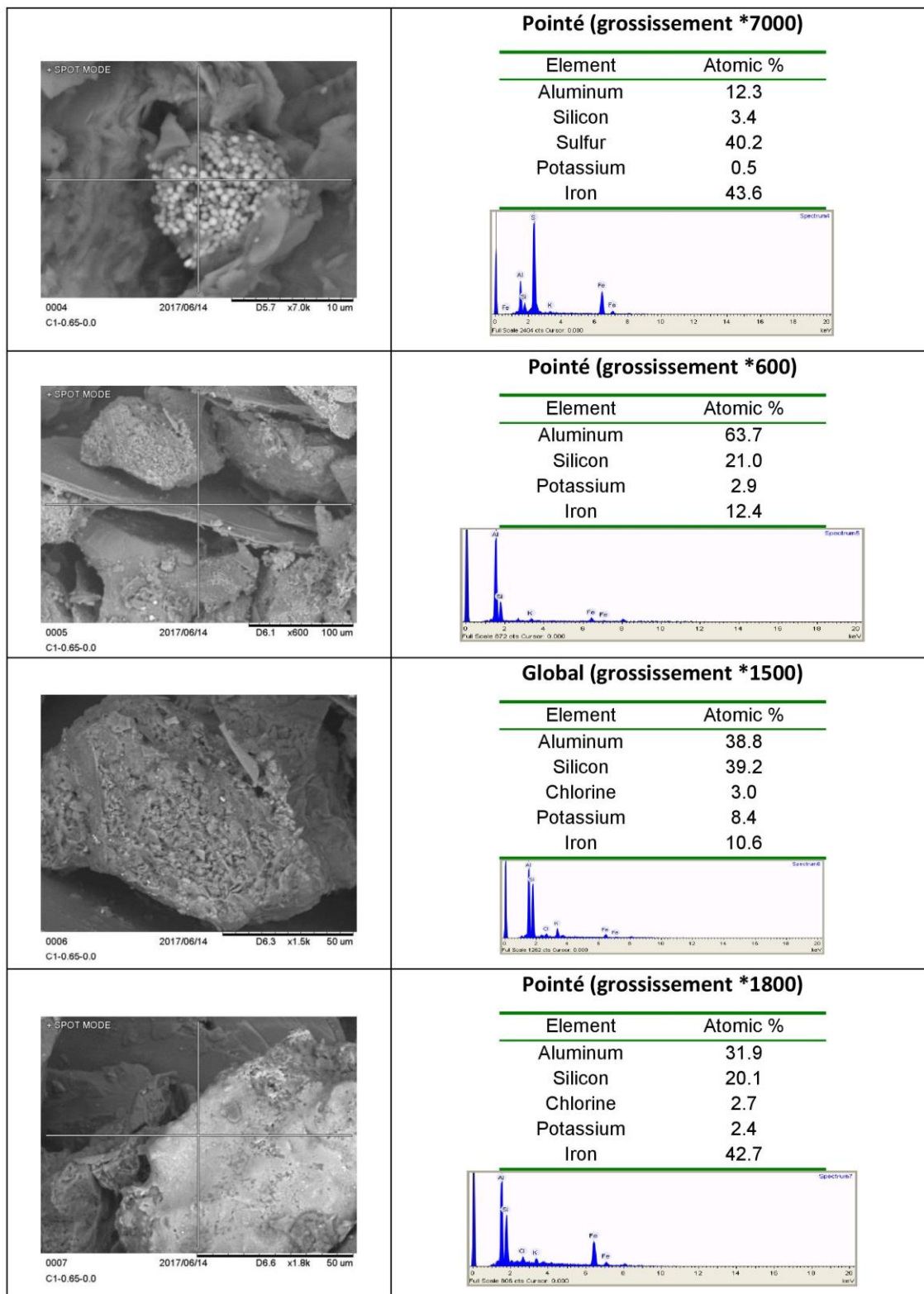
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
6.3358	13.95065	8.77	72-1234
9.0412	9.78133	90.02	84-1303
12.6119	7.01886	7.38	72-1234
13.9392	6.35337	0.4	82-1561
17.99	4.93091	48.05	84-1303
20.9798	4.23448	13.42	72-1234; 82-1561
23.6307	3.76511	1.84	72-1234; 84-1303
25.2916	3.52149	8.53	72-1234; 84-1303
27.0901	3.29165	100	72-1234
31.5267	2.83782	0.6	72-1234
35.2197	2.54827	0.83	72-1234; 84-1303; 82-1561
36.2393	2.47888	6.34	72-1234; 84-1303; 82-1561
39.6266	2.27444	0.73	72-1234; 84-1303; 82-1561
40.4194	2.23164	3.03	72-1234; 84-1303; 82-1561
41.8237	2.1599	1.75	72-1234; 84-1303; 82-1561
42.545	2.12494	1.93	72-1234; 84-1303; 82-1561
43.2353	2.0926	6.69	72-1234; 84-1303; 82-1561
45.7383	1.98374	37.27	84-1303; 82-1561
48.2572	1.88592	0.48	72-1234; 84-1303; 82-1561
50.2679	1.8151	3.23	72-1234; 82-1561
55.3387	1.66018	1.07	72-1234; 84-1303

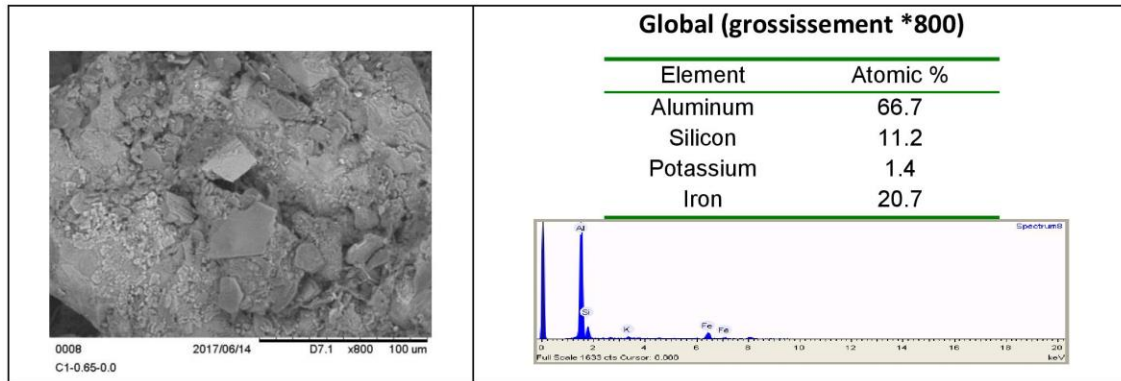
60.1019	1.5395	2.89	72-1234; 84-1303; 82-1561
61.9528	1.49788	0.55	72-1234; 84-1303; 82-1561
65.7918	1.41947	0.92	72-1234; 84-1303; 82-1561
68.3249	1.37176	0.94	72-1234; 84-1303; 82-1561

Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz.

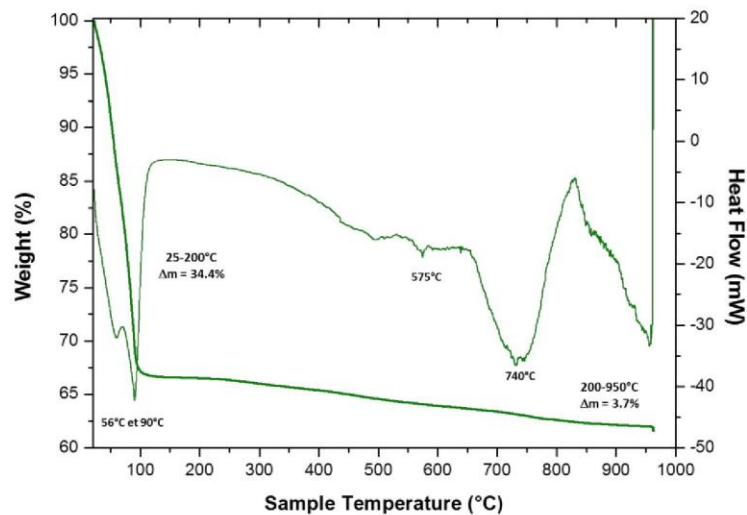
**MEB :**







**ATG :**



**Figure 6.** ATG de l'échantillon C1-0,0-0,65-A.

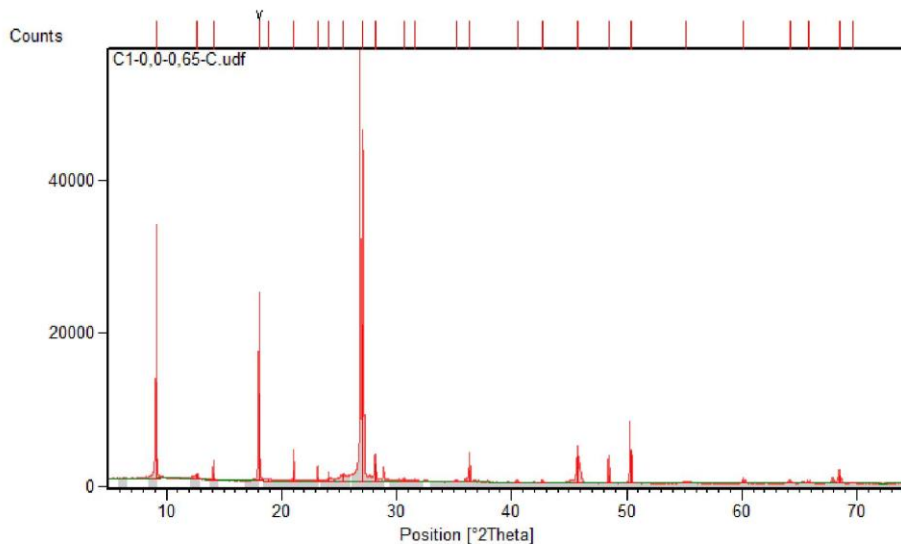
Nous observons une première perte de masse d'environ 34% (avec 2 phénomènes exothermiques observés à 50°C et 90°C), suivie d'une seconde de l'ordre de 4 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Soufre, Chlore, Magnésium et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 34.4\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 3.7\%$

**C1-0,0-0,65-C**

**DRX**



**Figure 7.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C1-0,0-0,65-C.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

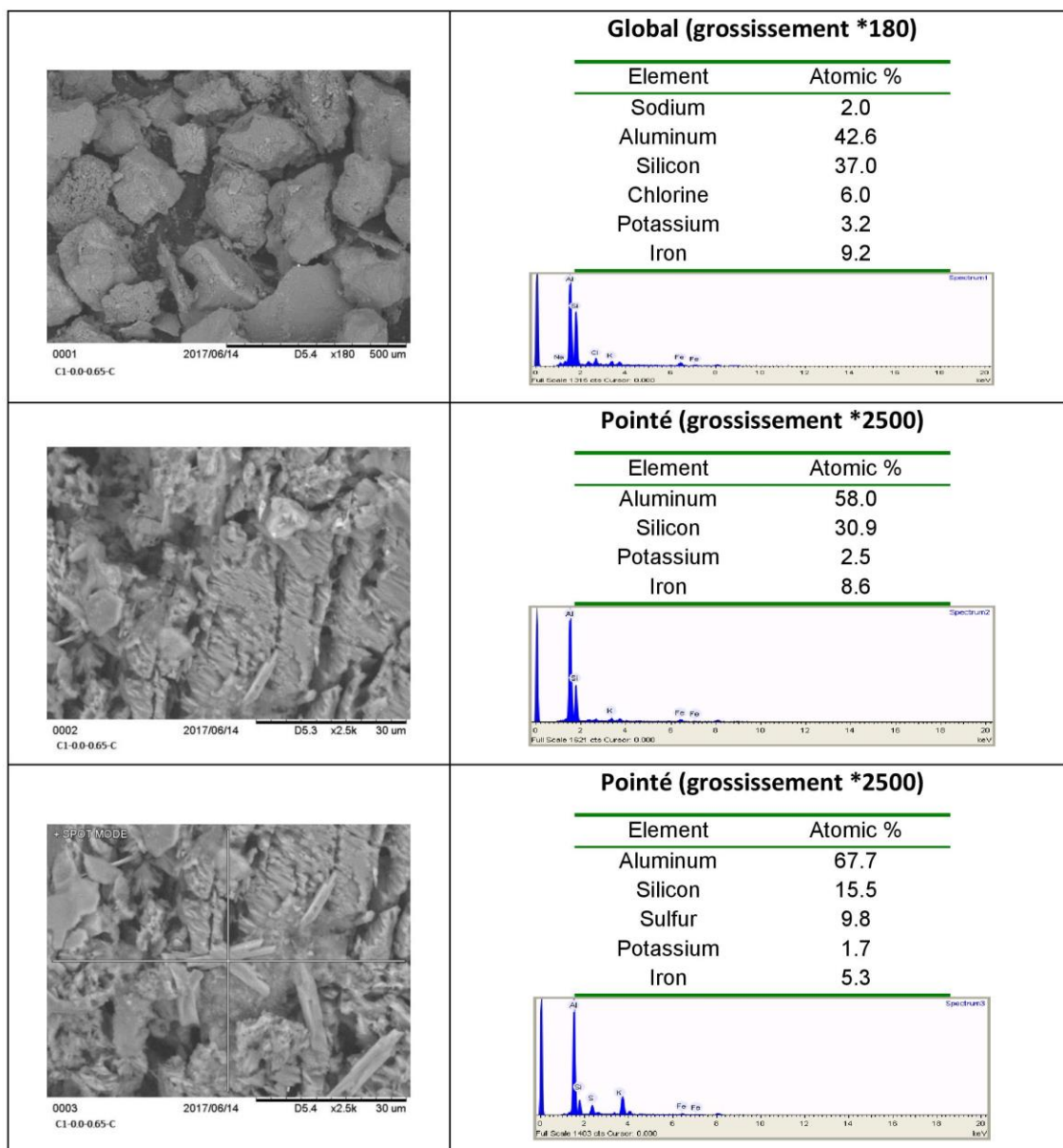
Tableau d'indexation:

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
9.0905	9.72836	61.97	84-1303
12.6831	6.97963	3.18	72-1234
14.0933	6.28425	4.39	82-1561
18.0522	4.91404	56.24	
18.9366	4.68648	1.36	72-1234
21.0928	4.21203	7.46	82-1561
23.1683	3.8392	2.66	72-1234; 84-1303
24.1482	3.68557	2.63	72-1234
25.3402	3.51485	4.39	72-1234; 84-1303
26.993	3.30327	100	72-1234; 84-1303
28.1486	3.17023	11.61	72-1234; 84-1303; 82-1561
30.6883	2.91341	1.47	82-1561
31.5948	2.83187	1.03	72-1234; 84-1303
35.1949	2.55	0.6	72-1234; 84-1303; 82-1561
36.2872	2.47571	7.39	72-1234; 84-1303; 82-1561
40.4852	2.22817	0.86	72-1234; 84-1303; 82-1561
42.6777	2.11864	0.98	72-1234; 84-1303; 82-1561
45.734	1.98392	17.27	84-1303; 82-1561
48.4539	1.87872	5.1	72-1234; 84-1303; 82-1561

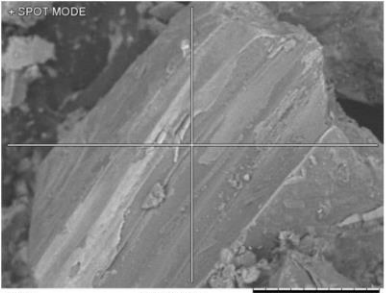
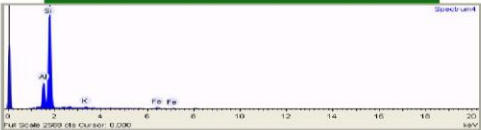
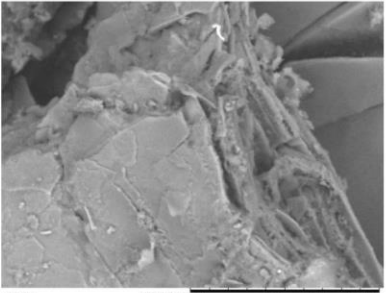
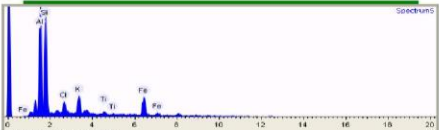
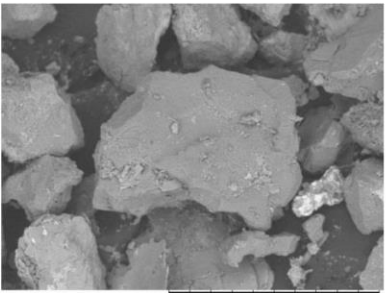
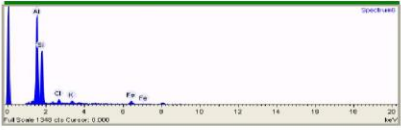
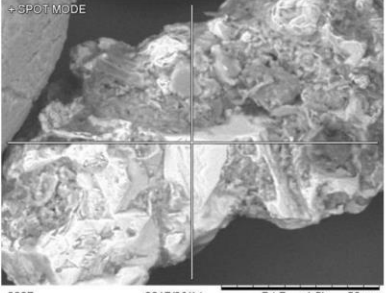
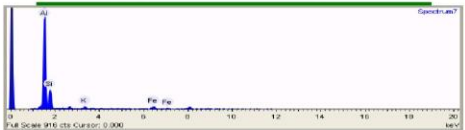
50.3439	1.81254	20.84	72-1234; 82-1561
55.1698	1.66487	0.74	72-1234; 84-1303
60.1806	1.53768	2.32	72-1234; 84-1303; 82-1561
64.1641	1.45149	1.53	72-1234; 84-1303; 82-1561
65.7756	1.41978	1.14	72-1234; 84-1303; 82-1561
68.5011	1.36979	4.96	72-1234; 84-1303; 82-1561
69.6253	1.34928	0.48	72-1234; 84-1303; 82-1561

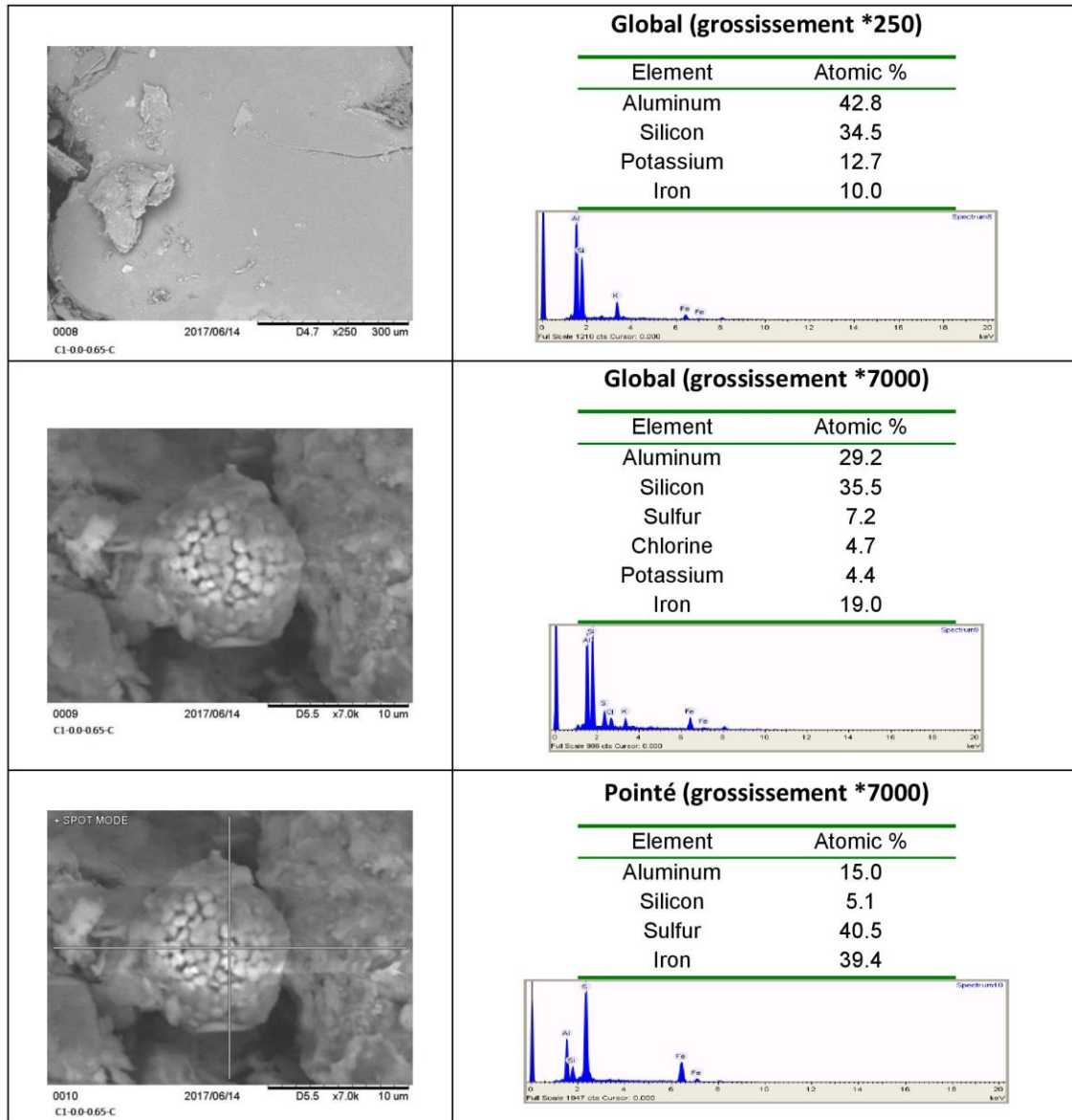
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz. A noter que le pic à  $2\theta=18^\circ$  non-indexé, pourrait l'être par la fiche 76-1743 correspondant à la Brookite ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_5$ ).

**MEB :**

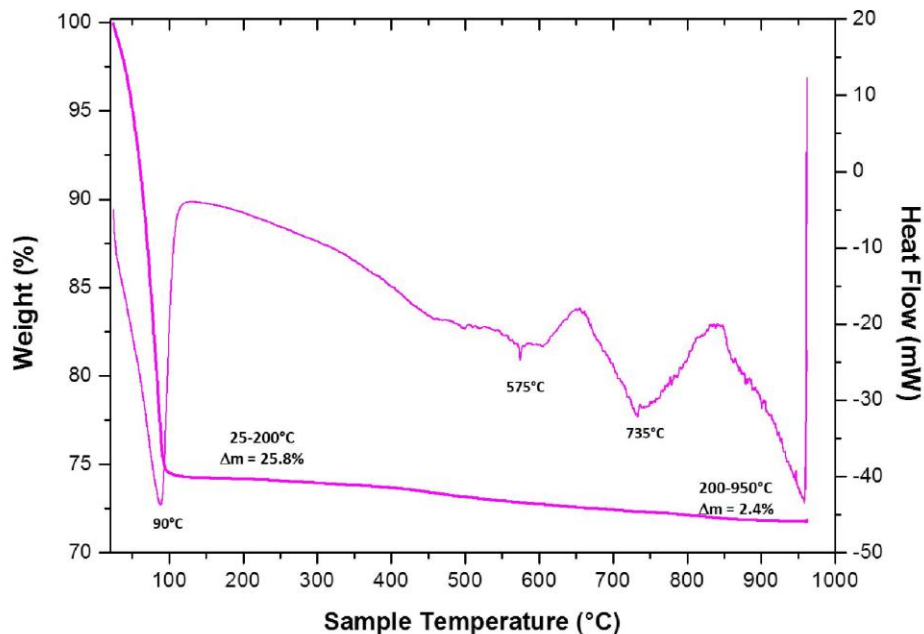




 <p>0004 2017/06/14 D5.1 x1.2k 50 um C1-00-065-C</p>	<p><b>Pointé (grossissement *1200)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>15.4</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>78.3</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>4.9</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	15.4	Silicon	78.3	Potassium	1.4	Iron	4.9				
Element	Atomic %														
Aluminum	15.4														
Silicon	78.3														
Potassium	1.4														
Iron	4.9														
 <p>0005 2017/06/14 D5.1 x1.8k 50 um C1-00-065-C</p>	<p><b>Global (grossissement *1800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>28.9</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>30.0</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>4.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>7.7</td> </tr> <tr> <td>Titanium</td> <td>1.8</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>27.1</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	28.9	Silicon	30.0	Chlorine	4.5	Potassium	7.7	Titanium	1.8	Iron	27.1
Element	Atomic %														
Aluminum	28.9														
Silicon	30.0														
Chlorine	4.5														
Potassium	7.7														
Titanium	1.8														
Iron	27.1														
 <p>0006 2017/06/14 D4.2 x200 500 um C1-00-065-C</p>	<p><b>Global (grossissement *200)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>46.2</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>39.0</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>2.9</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>8.3</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	46.2	Silicon	39.0	Chlorine	3.6	Potassium	2.9	Iron	8.3		
Element	Atomic %														
Aluminum	46.2														
Silicon	39.0														
Chlorine	3.6														
Potassium	2.9														
Iron	8.3														
 <p>0007 2017/06/14 D4.7 x1.5k 50 um C1-00-065-C</p>	<p><b>Pointé (grossissement *1500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>64.6</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>22.0</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>2.1</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>11.3</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	64.6	Silicon	22.0	Potassium	2.1	Iron	11.3				
Element	Atomic %														
Aluminum	64.6														
Silicon	22.0														
Potassium	2.1														
Iron	11.3														



**ATG :**



**Figure 8.** ATG de l'échantillon C1-0,0-0,65-C.

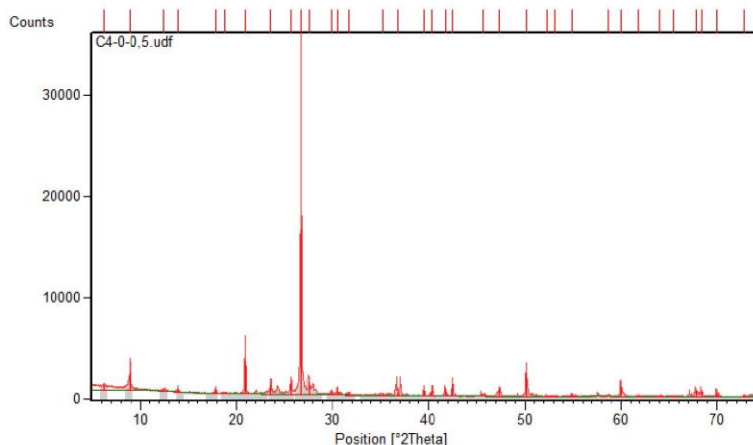
Nous observons une première perte de masse d'environ 26%, centrée sur 90°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 2.5 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Soufre, Chlore, Sodium et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 25.8\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 2.4\%$

**C4-0-0,5**

**DRX**



**Figure 9.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C4-0-0,5.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

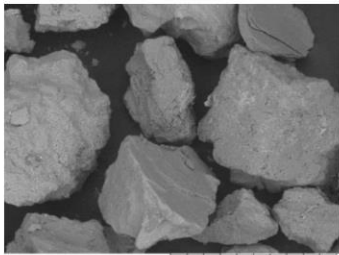
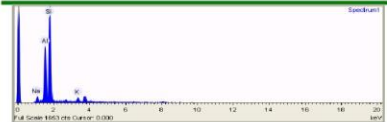
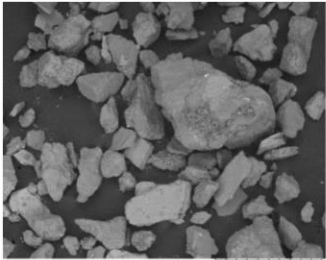
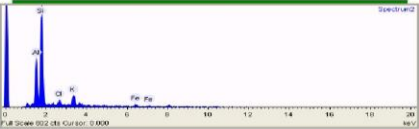
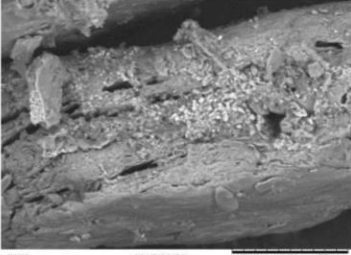
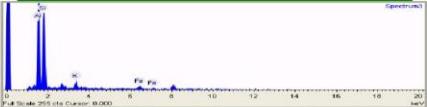
Tableau d'indexation:

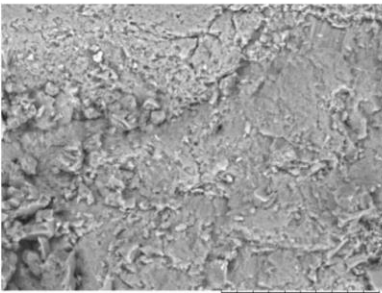
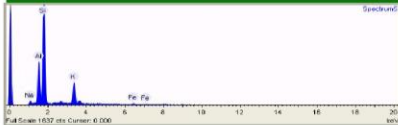
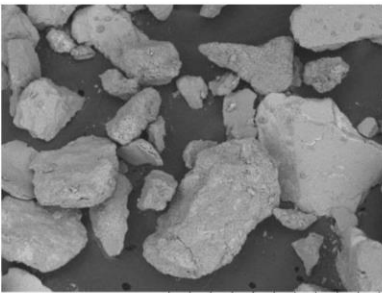
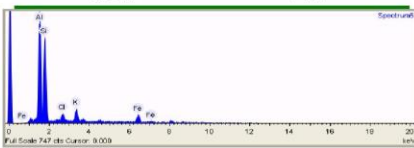
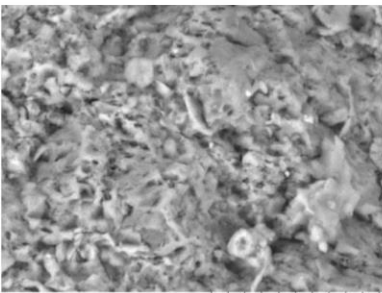
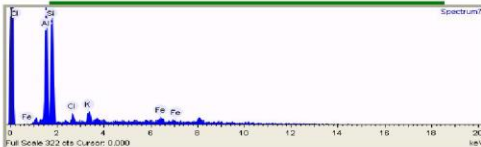
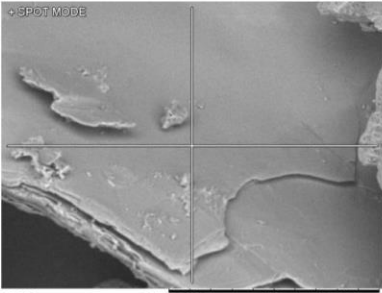
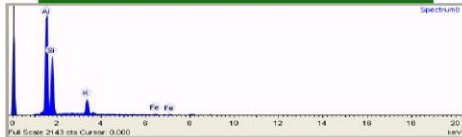
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
6.2474	14.14784	3.24	72-1234
8.9072	9.92819	11.2	84-1303
12.4732	7.09663	1.32	72-1234
13.9013	6.37062	2.3	82-1561
17.8561	4.96757	2.17	84-1303
18.7444	4.73412	0.46	72-1234
20.9244	4.24555	20.09	72-1234; 82-1561
23.5709	3.77453	5.98	84-1303
25.6938	3.46727	7.26	72-1234; 84-1303
26.7044	3.33831	100	72-1234; 84-1303; 82-1561
27.6145	3.23033	7.79	84-1303
29.8757	2.99078	1.94	84-1303; 82-1561
30.5899	2.92256	2.43	72-1234; 82-1561
31.6511	2.82695	1.25	72-1234; 84-1303
35.1625	2.55228	0.86	72-1234; 84-1303; 82-1561
36.8439	2.43957	1.59	72-1234; 84-1303
39.5153	2.2806	3.35	72-1234; 84-1303; 82-1561
40.3173	2.23706	3.21	72-1234; 84-1303; 82-1561
41.744	2.16384	4.31	72-1234; 84-1303; 82-1561
42.5068	2.12676	7.12	72-1234; 84-1303; 82-1561
45.6245	1.98842	1.04	84-1303; 82-1561
47.3742	1.91899	4.65	72-1234

50.1725	1.81832	14.44	72-1234; 82-1561
52.3318	1.74827	0.48	72-1234; 84-1303; 82-1561
53.1096	1.72448	0.42	72-1234; 84-1303; 82-1561
54.9585	1.67077	1.02	72-1234; 84-1303; 82-1561
58.701	1.57286	0.5	72-1234; 84-1303; 82-1561
60.004	1.54178	6.22	72-1234; 84-1303; 82-1561
61.8574	1.49996	0.57	72-1234; 84-1303; 82-1561
64.0328	1.45415	0.7	72-1234; 84-1303; 82-1561
65.4903	1.42528	0.33	72-1234; 84-1303; 82-1561
67.8009	1.38222	3.55	72-1234; 84-1303; 82-1561
68.3612	1.37225	3.02	72-1234; 84-1303; 82-1561
70.0197	1.34376	1.9	72-1234; 84-1303
72.8114	1.29789	0.95	72-1234; 84-1303; 82-1561

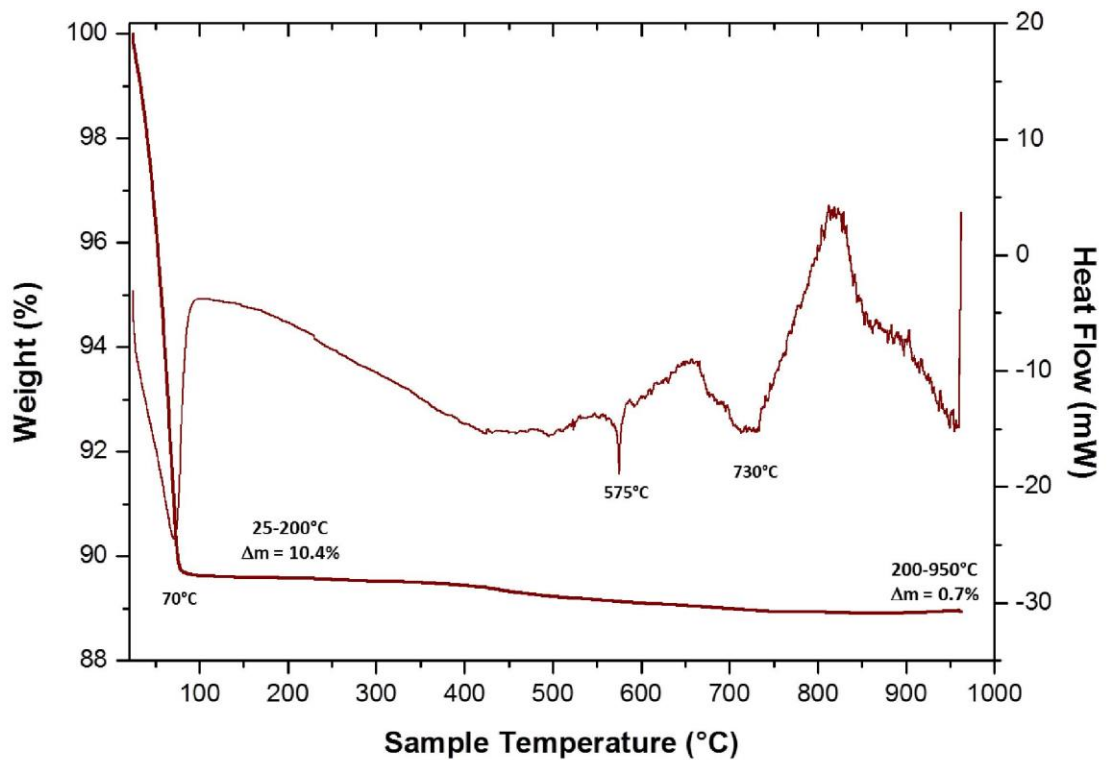
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz.

**MEB :**

 <p>0001 2017/06/26 D6.1 x180 500 um C4-0-0.5</p>	<p><b>Global (grossissement *180)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>4.6</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>27.3</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>64.0</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>4.1</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	4.6	Aluminum	27.3	Silicon	64.0	Potassium	4.1		
Element	Atomic %												
Sodium	4.6												
Aluminum	27.3												
Silicon	64.0												
Potassium	4.1												
 <p>0002 2017/06/26 D6.3 x60 1 mm C4-0-0.5</p>	<p><b>Global (grossissement *60)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>21.1</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>57.5</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>11.5</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>6.3</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	21.1	Silicon	57.5	Chlorine	3.6	Potassium	11.5	Iron	6.3
Element	Atomic %												
Aluminum	21.1												
Silicon	57.5												
Chlorine	3.6												
Potassium	11.5												
Iron	6.3												
 <p>0003 2017/06/26 D4.4 x1.2k 50 um C4-0-0.5</p>	<p><b>Global (grossissement *1200)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>39.1</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>49.0</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>6.5</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	39.1	Silicon	49.0	Potassium	5.4	Iron	6.5		
Element	Atomic %												
Aluminum	39.1												
Silicon	49.0												
Potassium	5.4												
Iron	6.5												

 <p>0005 2017/06/26 D4.1 x1.5k 50 um C4-0-0.5</p>	<p><b>Global (grossissement *1500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>2.8</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>19.1</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>55.6</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>20.2</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>2.3</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	2.8	Aluminum	19.1	Silicon	55.6	Potassium	20.2	Iron	2.3
Element	Atomic %												
Sodium	2.8												
Aluminum	19.1												
Silicon	55.6												
Potassium	20.2												
Iron	2.3												
 <p>0006 2017/06/26 D4.1 x100 1 mm C4-0-0.5</p>	<p><b>Global (grossissement *100)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>37.5</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>36.7</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>4.1</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>14.7</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	37.5	Silicon	36.7	Chlorine	4.1	Potassium	7.0	Iron	14.7
Element	Atomic %												
Aluminum	37.5												
Silicon	36.7												
Chlorine	4.1												
Potassium	7.0												
Iron	14.7												
 <p>0007 2017/06/26 D4.2 x4.0k 20 um C4-0-0.5</p>	<p><b>Global (grossissement *4000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>35.5</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>47.6</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>3.6</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>6.6</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>6.7</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	35.5	Silicon	47.6	Chlorine	3.6	Potassium	6.6	Iron	6.7
Element	Atomic %												
Aluminum	35.5												
Silicon	47.6												
Chlorine	3.6												
Potassium	6.6												
Iron	6.7												
 <p>0008 2017/06/26 D4.2 x1.0k 100 um C4-0-0.5</p>	<p><b>Pointé (grossissement *1000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>47.3</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>38.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>12.7</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>1.5</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	47.3	Silicon	38.5	Potassium	12.7	Iron	1.5		
Element	Atomic %												
Aluminum	47.3												
Silicon	38.5												
Potassium	12.7												
Iron	1.5												

**ATG :**



**Figure 10.** ATG de l'échantillon C4-0-0,5.

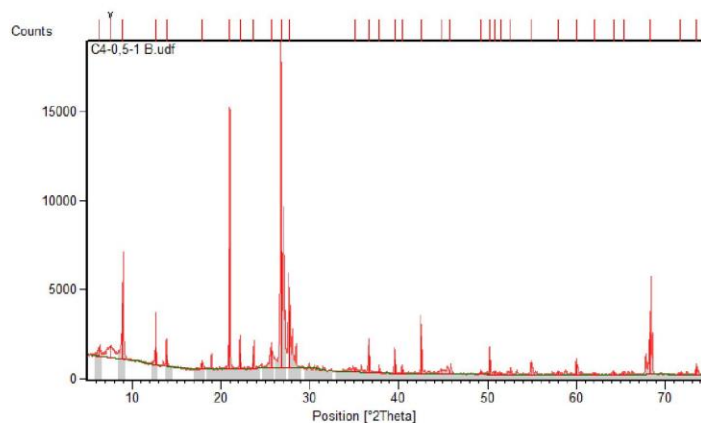
Nous observons une première perte de masse d'environ 10%, centrée sur 70°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 1 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Soufre et Chlore
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 10.4\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 0.7\%$

**C4-0,5-1-B**

**DRX**



**Figure 11.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C4-0,5-1-B.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1304	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

Tableau d'indexation:

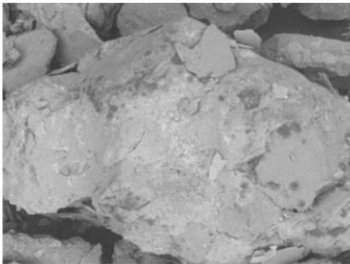
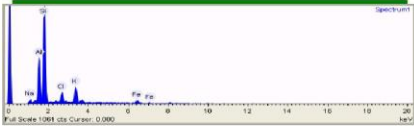
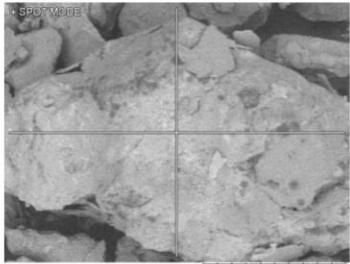
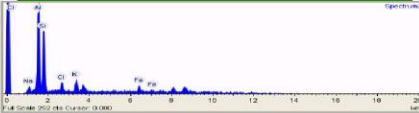
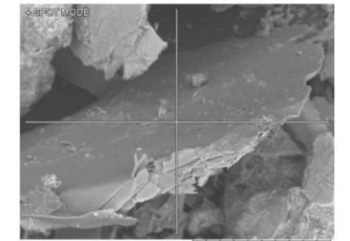
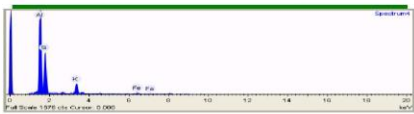
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
6.2976	14.03515	7.61	72-1234
7.6053	11.62448	9.67	
8.9521	9.87846	47.17	84-1304
12.6198	7.01453	14.59	72-1234
13.8797	6.38047	10.02	82-1561
17.9213	4.94965	5.16	84-1304
20.9781	4.23481	100	72-1234; 82-1561; 84-1304
22.1302	4.01688	13.02	72-1234
23.6935	3.75527	12.47	72-1234; 84-1304
25.7003	3.46642	15.38	72-1234; 84-1304
26.8628	3.31899	97.7	72-1234; 82-1561; 84-1304
27.7581	3.21394	47.76	84-1304
35.0492	2.56027	3.1	72-1234; 82-1561; 84-1304
36.6379	2.45282	15.94	72-1234; 84-1304
37.8411	2.37755	2.88	72-1234; 84-1304
39.5744	2.27732	12.08	72-1234; 82-1561; 84-1304
40.3922	2.23308	3.68	72-1234; 82-1561; 84-1304
42.5548	2.12448	31.45	82-1561; 84-1304
44.8144	2.02247	3.46	72-1234; 82-1561; 84-1304
45.7473	1.98337	3.34	82-1561; 84-1304
49.2911	1.84875	2.71	72-1234; 82-1561; 84-1304
50.2325	1.81629	12.55	72-1234; 82-1561; 84-1304
50.8288	1.79638	2.47	72-1234; 82-1561
51.5202	1.77388	1.28	72-1234; 84-1304

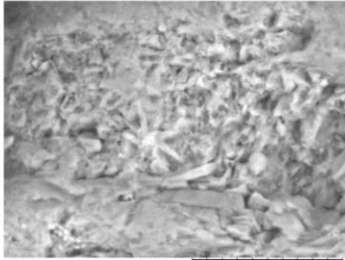
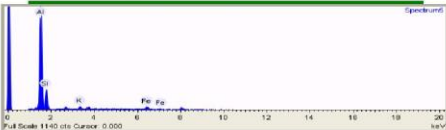
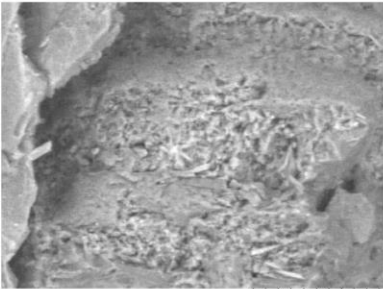
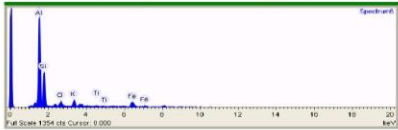
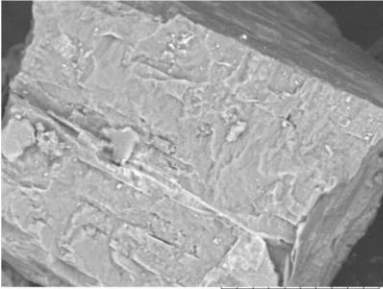
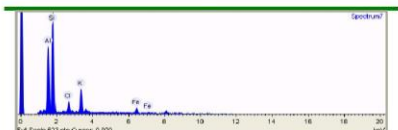
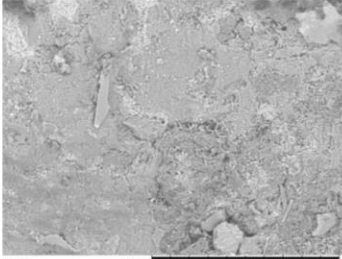
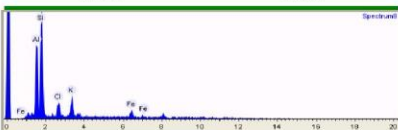


52.4963	1.74318	2.44	72-1234; 82-1561; 84-1304
54.937	1.67137	10.78	72-1234; 82-1561; 84-1304
57.9447	1.59157	2.56	72-1234; 82-1561; 84-1304
60.0394	1.54096	9.41	72-1234; 82-1561; 84-1304
62.0187	1.49645	1.37	72-1234; 82-1561; 84-1304
64.1574	1.45163	2.18	72-1234; 82-1561; 84-1304
65.373	1.42755	1.58	72-1234; 82-1561; 84-1304
68.323	1.37293	35.09	72-1234; 82-1561; 84-1304
71.7254	1.31594	1.18	72-1234; 82-1561; 84-1304
73.5067	1.28733	6.57	72-1234; 82-1561; 84-1304

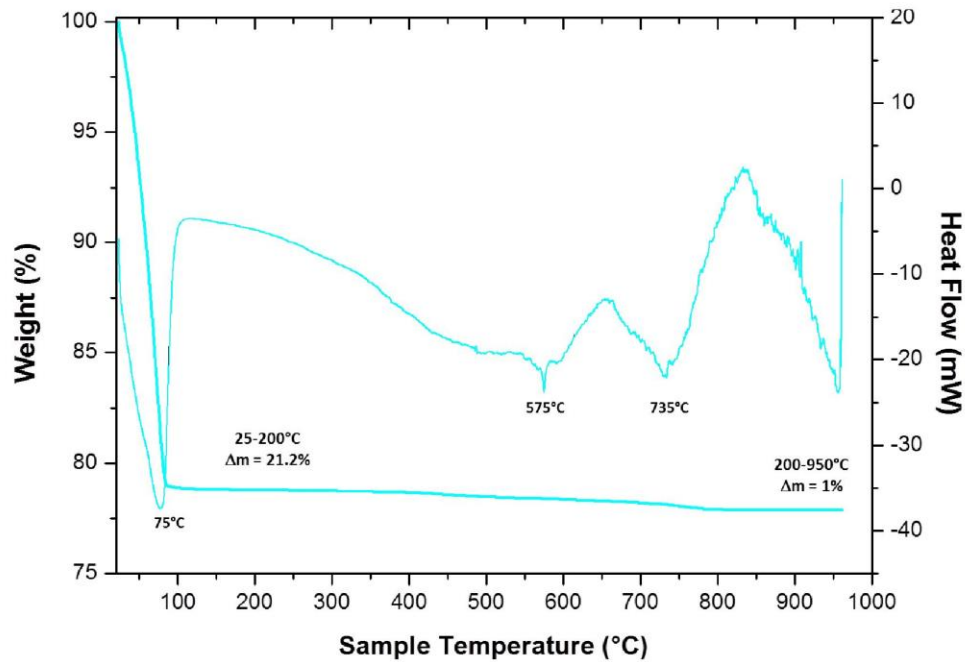
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz. A noter qu'un pic à  $2\theta=7,6^\circ$  est non-indexé.

**MEB :**

 <p>0001 C4-0.5-1-B 2017/06/14 D4.7 x150 500 um</p>	<p><b>Global (grossissement *150)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>3.3</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>19.6</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>49.6</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>6.9</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>13.2</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>7.4</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	3.3	Aluminum	19.6	Silicon	49.6	Chlorine	6.9	Potassium	13.2	Iron	7.4
Element	Atomic %														
Sodium	3.3														
Aluminum	19.6														
Silicon	49.6														
Chlorine	6.9														
Potassium	13.2														
Iron	7.4														
 <p>0002 C4-0.5-1-B 2017/06/14 D4.7 x150 500 um</p>	<p><b>Pointé (grossissement *150)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>4.6</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>37.0</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>32.4</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>5.7</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>7.0</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>13.3</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	4.6	Aluminum	37.0	Silicon	32.4	Chlorine	5.7	Potassium	7.0	Iron	13.3
Element	Atomic %														
Sodium	4.6														
Aluminum	37.0														
Silicon	32.4														
Chlorine	5.7														
Potassium	7.0														
Iron	13.3														
 <p>0004 C4-0.5-1-B 2017/06/14 D5.2 x800 100 um</p>	<p><b>Pointé (grossissement *800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>48.3</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>37.1</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>11.6</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>3.0</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	48.3	Silicon	37.1	Potassium	11.6	Iron	3.0				
Element	Atomic %														
Aluminum	48.3														
Silicon	37.1														
Potassium	11.6														
Iron	3.0														

 <p>0005 2017/06/14 D5.3 x4.0k 20 um C4-0.5-1-B</p>	<p><b>Global (grossissement *4000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>65.3</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>21.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>3.5</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>9.7</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	65.3	Silicon	21.5	Potassium	3.5	Iron	9.7				
Element	Atomic %														
Aluminum	65.3														
Silicon	21.5														
Potassium	3.5														
Iron	9.7														
 <p>0006 2017/06/14 D5.3 x2.0k 30 um C4-0.5-1-B</p>	<p><b>Global (grossissement *2000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>48.1</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>24.7</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>4.0</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>5.4</td> </tr> <tr> <td>Titanium</td> <td>1.4</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>16.4</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	48.1	Silicon	24.7	Chlorine	4.0	Potassium	5.4	Titanium	1.4	Iron	16.4
Element	Atomic %														
Aluminum	48.1														
Silicon	24.7														
Chlorine	4.0														
Potassium	5.4														
Titanium	1.4														
Iron	16.4														
 <p>0007 2017/06/14 D5.2 x1.5k 50 um C4-0.5-1-B</p>	<p><b>Global (grossissement *1500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>23.3</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>42.4</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>6.4</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>16.2</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>11.7</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	23.3	Silicon	42.4	Chlorine	6.4	Potassium	16.2	Iron	11.7		
Element	Atomic %														
Aluminum	23.3														
Silicon	42.4														
Chlorine	6.4														
Potassium	16.2														
Iron	11.7														
 <p>0008 2017/06/14 D4.9 x500 200 um C4-0.5-1-B</p>	<p><b>Global (grossissement *500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>24.6</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>43.6</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>8.3</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>10.3</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>13.2</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	24.6	Silicon	43.6	Chlorine	8.3	Potassium	10.3	Iron	13.2		
Element	Atomic %														
Aluminum	24.6														
Silicon	43.6														
Chlorine	8.3														
Potassium	10.3														
Iron	13.2														

**ATG :**



**Figure 12.** ATG de l'échantillon C4-0,5-1-B.

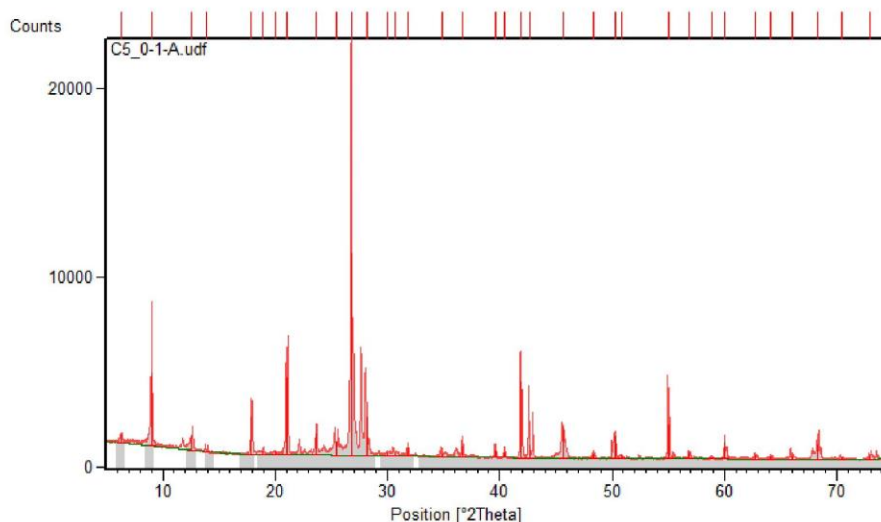
Nous observons une première perte de masse d'environ 21%, centrée sur 75°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 1% entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Sodium, Chlore et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 21.2\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 1\%$

**C5-0-1-A**

**DRX**



**Figure 13.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C5-0-1-A.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

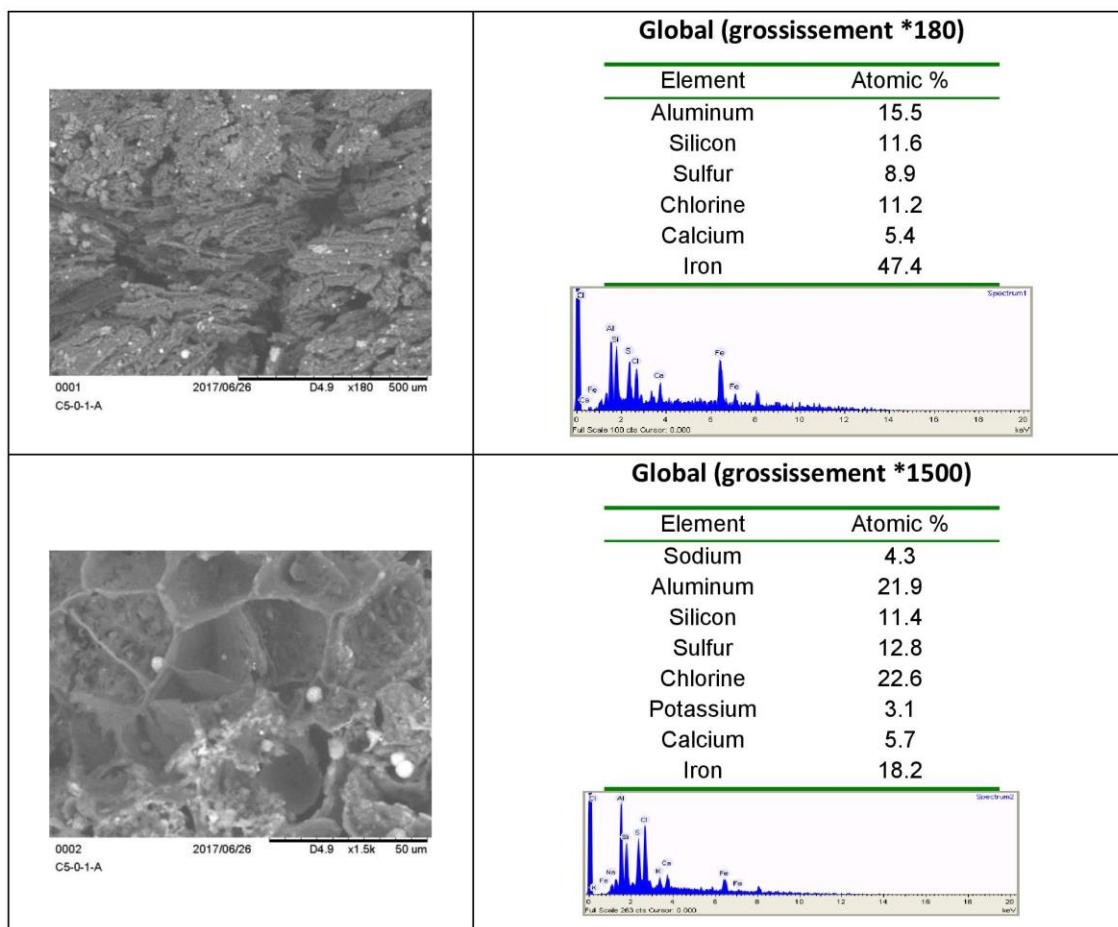
Tableau d'indexation:

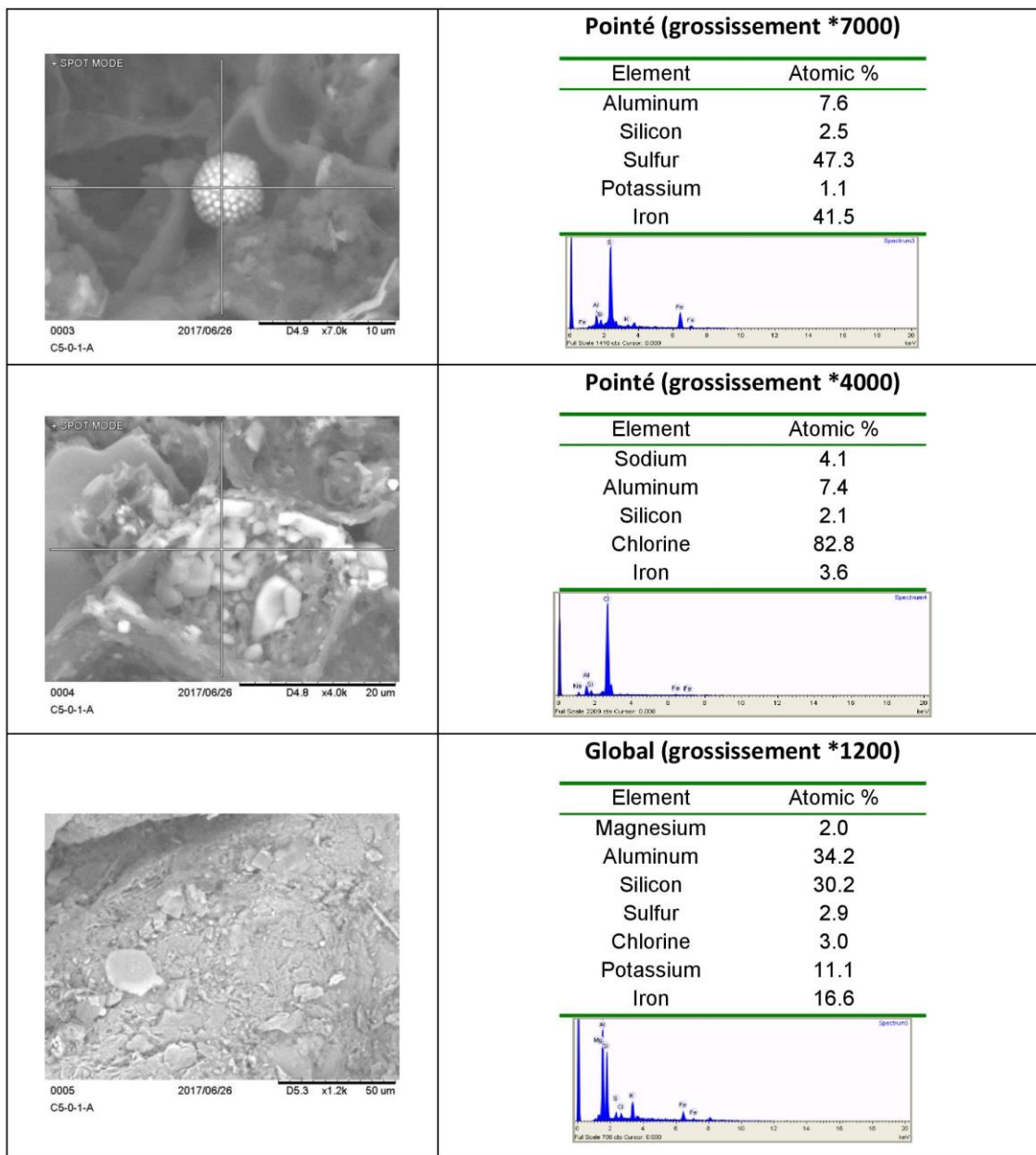
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
6.3047	14.01926	4.41	72-1234
8.9922	9.8345	36.45	84-1303
12.5763	7.03865	7.51	72-1234
13.9091	6.36706	0.7	82-1561
17.9212	4.94968	18.31	84-1303
18.8548	4.70664	2.02	72-1234
19.9745	4.44527	1.61	72-1234; 84-1303
21.0575	4.21901	38.14	72-1234; 82-1561
23.6571	3.76097	10.56	72-1234; 84-1303
25.4231	3.50358	7.2	72-1234; 84-1303
26.8298	3.323	100	72-1234; 82-1561; 84-1303
28.166	3.16831	19.53	72-1234; 82-1561; 84-1303
30.0304	2.97572	2.21	72-1234; 82-1561; 84-1303
30.662	2.91585	2.26	82-1561
31.792	2.81475	4.28	72-1234; 84-1303
34.9223	2.56928	1.64	72-1234; 82-1561; 84-1303
36.7153	2.44783	5.82	72-1234; 84-1303
39.5944	2.27622	3.83	72-1234; 82-1561; 84-1303
40.4186	2.23169	2.83	72-1234; 82-1561; 84-1303

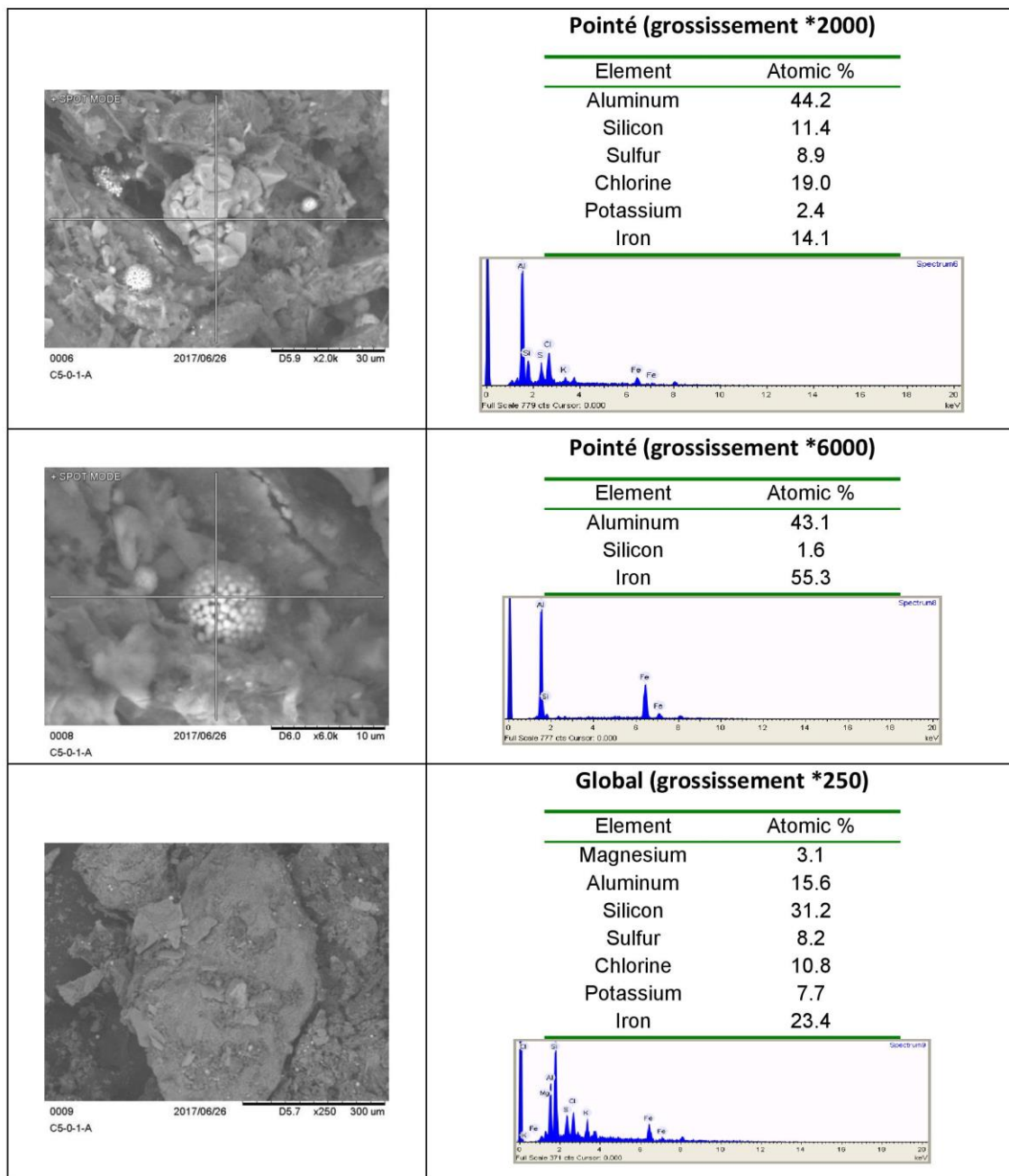
41.8928	2.1565	37.63	72-1234; 82-1561; 84-1303
42.7141	2.11692	6.35	72-1234; 82-1561; 84-1303
45.5875	1.98995	15.69	72-1234; 82-1561; 84-1303
48.3599	1.88215	2.72	72-1234; 82-1561; 84-1303
50.2443	1.81589	11.42	72-1234; 82-1561
50.7938	1.79753	1.88	72-1234; 82-1561; 84-1303
55.0134	1.66923	17.32	72-1234; 82-1561; 84-1303
56.844	1.61974	3.25	72-1234; 82-1561; 84-1303
58.8481	1.56927	1.15	72-1234; 82-1561; 84-1303
60.059	1.5405	8.65	72-1234; 82-1561; 84-1303
62.7662	1.48041	1.95	72-1234; 84-1303
64.1159	1.45247	1.63	72-1234; 82-1561; 84-1303
65.9993	1.41551	1.84	72-1234; 82-1561; 84-1303
68.3137	1.37309	7.4	72-1234; 82-1561; 84-1303
70.3913	1.33757	1.34	72-1234; 82-1561; 84-1303
72.9741	1.2954	2.03	72-1234; 82-1561; 84-1303

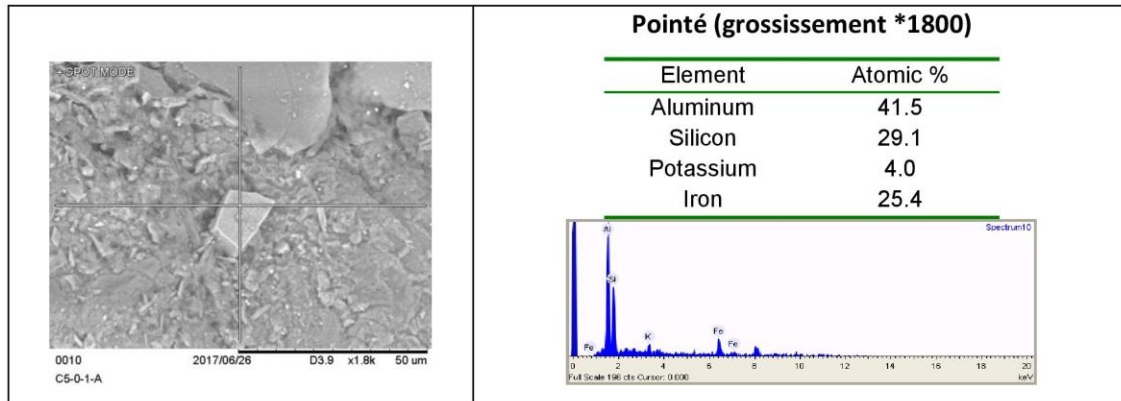
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz.

**MEB :**

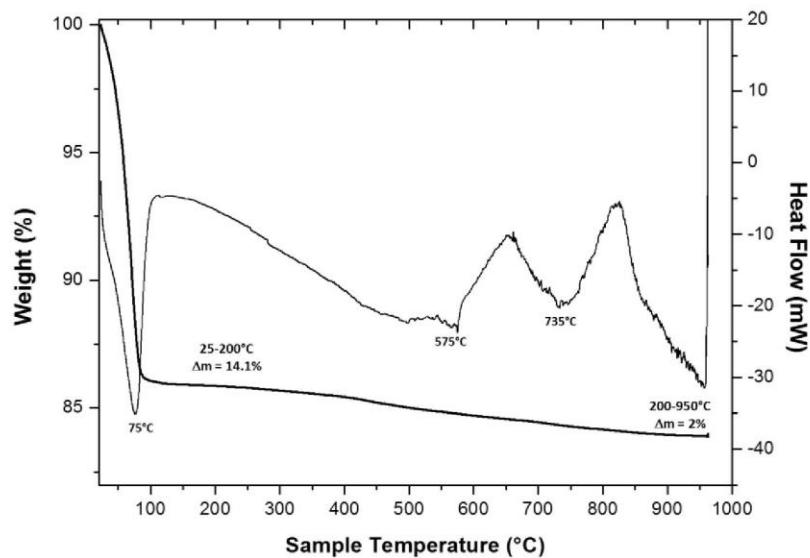








**ATG :**



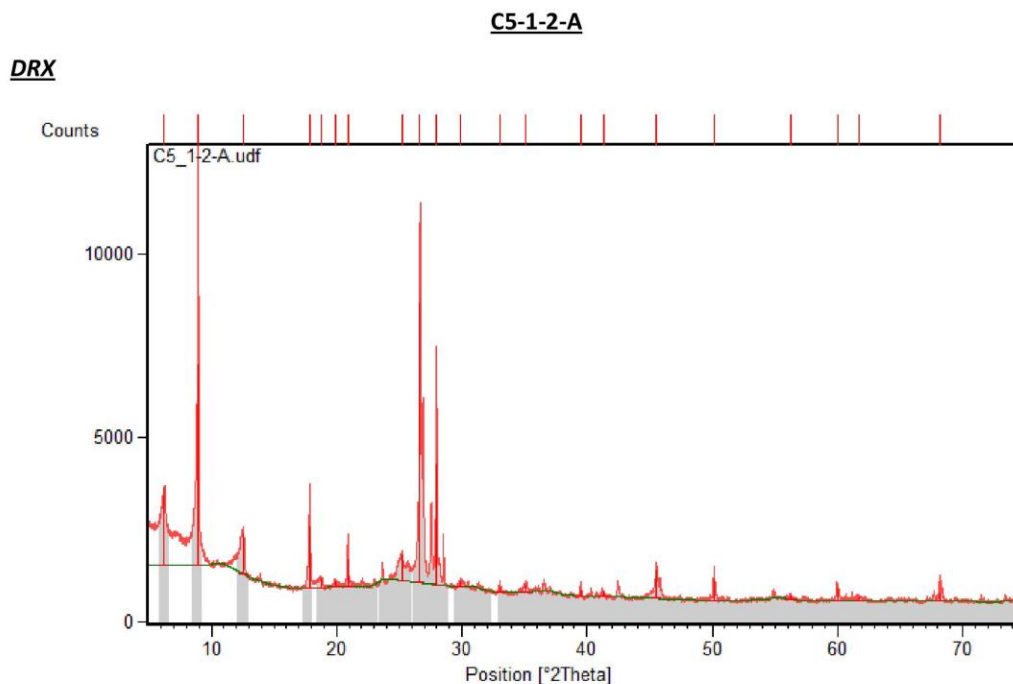
**Figure 14.** ATG de l'échantillon C5-0-1-A.

Nous observons une première perte de masse d'environ 14%, centrée sur 75°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 2 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Magnésium, Chlore, Soufre et Calcium
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 14.1\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 2\%$





**Figure 15.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C5-1-2-A.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

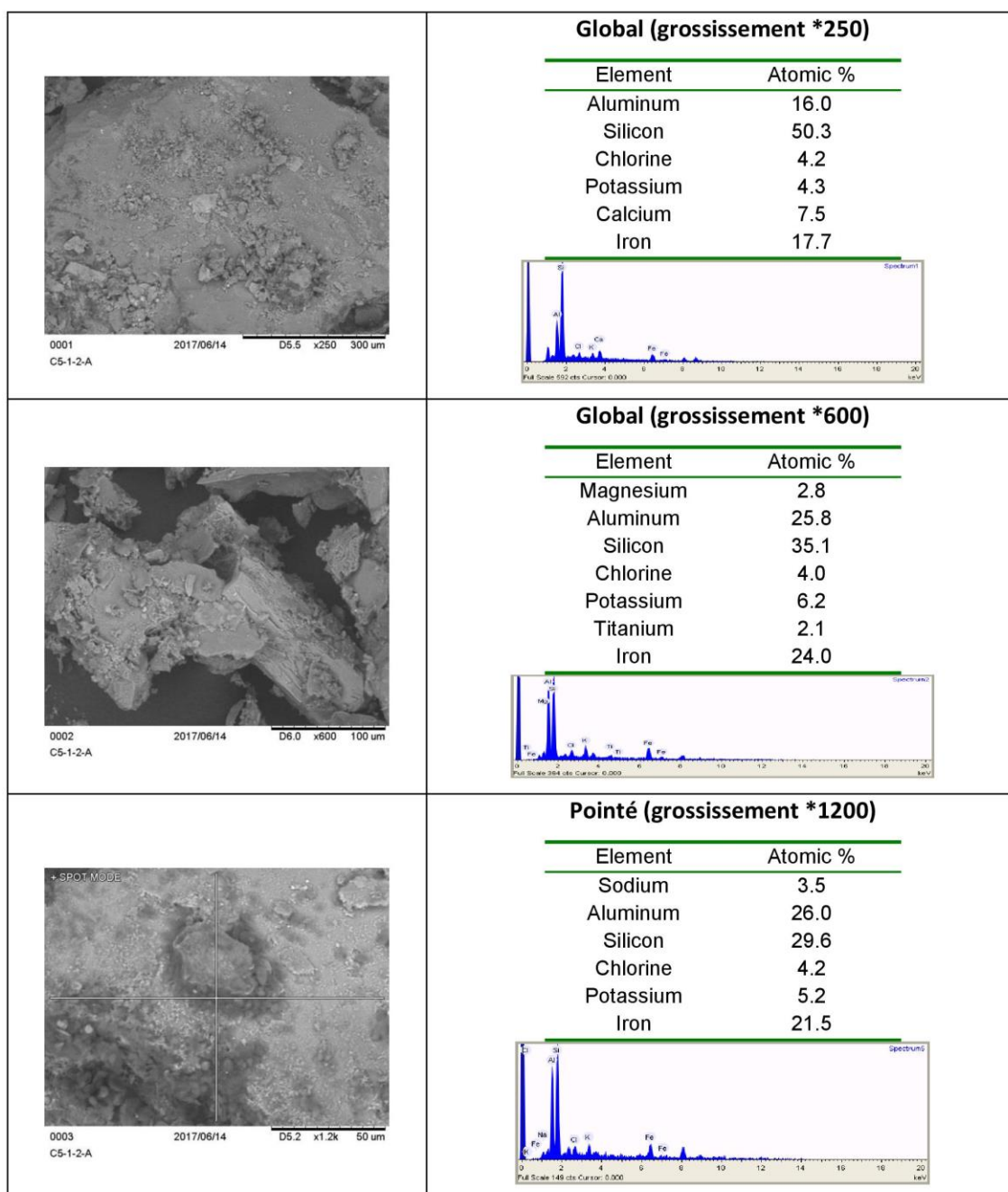
Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
85-0695	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>

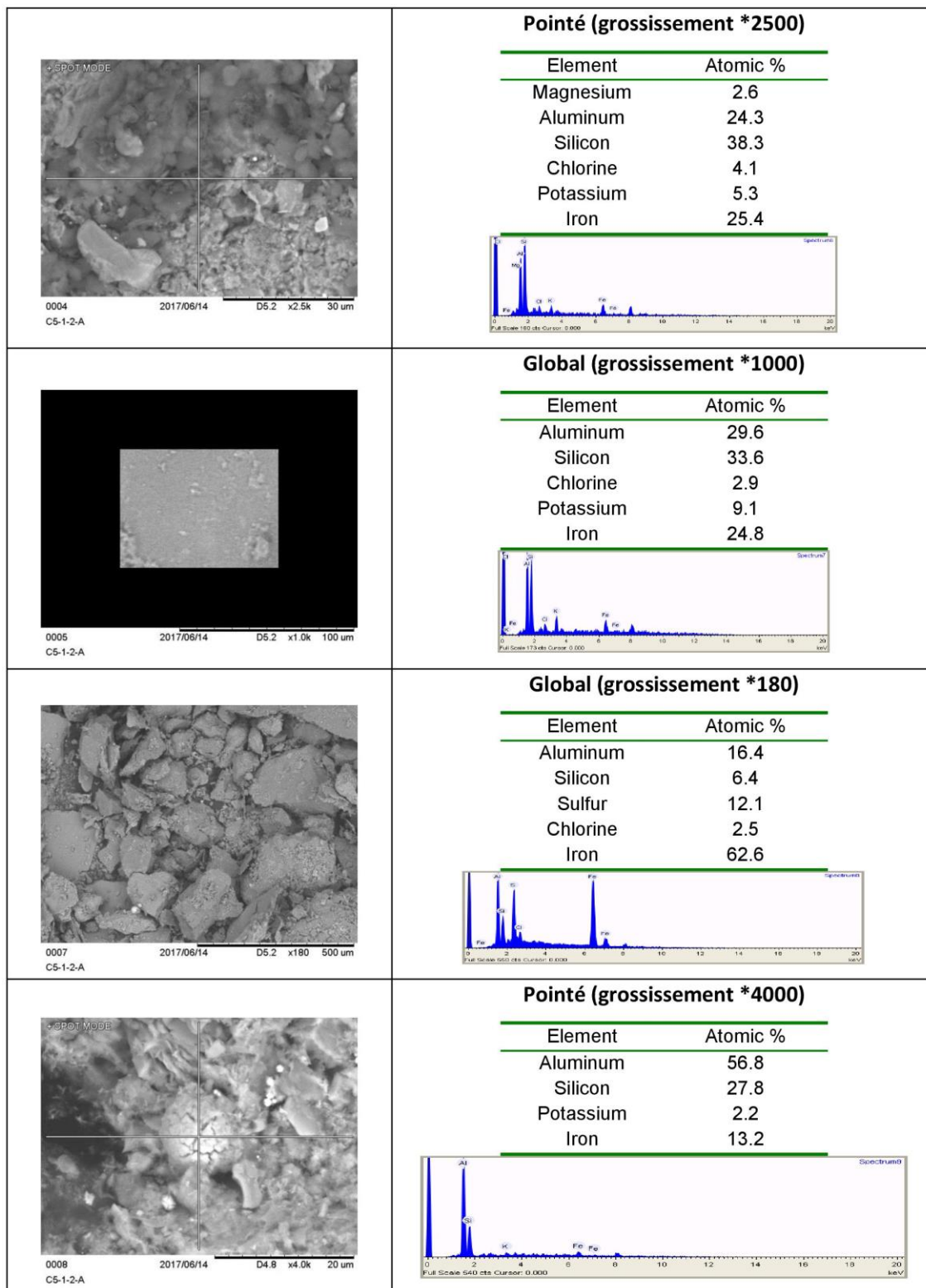
Tableau d'indexation:

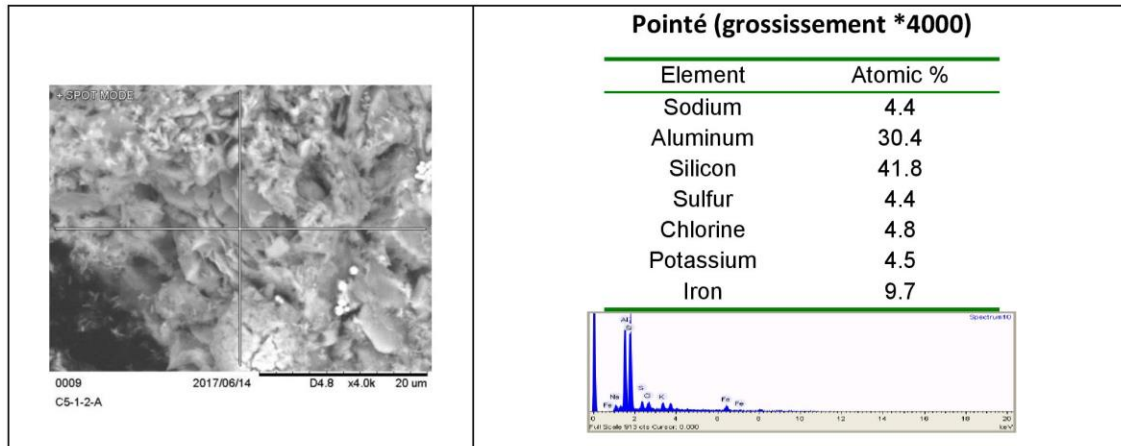
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
6.2367	14.17189	27.57	72-1234
8.8849	9.95295	71.81	84-1303
12.5024	7.0801	14.81	72-1234
17.8199	4.97757	22.39	84-1303
18.8035	4.71937	3.12	72-1234
19.8675	4.46895	2.31	72-1234; 84-1303
20.9002	4.25041	10.06	85-0695; 72-1234; 84-1303
25.1945	3.53485	9.61	72-1234; 84-1303
26.6501	3.34499	100	85-0695; 72-1234; 84-1303
28.0066	3.18598	43.35	72-1234; 84-1303
29.8653	2.9918	2.22	84-1303
33.0724	2.70864	2.33	72-1234; 84-1303
35.0897	2.55741	3.17	72-1234; 84-1303
39.4939	2.28178	2.32	85-0695; 72-1234; 84-1303
41.2815	2.18701	1.96	72-1234; 84-1303
45.5325	1.99223	10.2	85-0695; 72-1234; 84-1303
50.1536	1.81897	8.04	85-0695; 72-1234

56.2723	1.63484	1.66	72-1234; 84-1303
59.9898	1.54211	5.21	85-0695; 72-1234; 84-1303
61.7427	1.50247	1.7	72-1234; 84-1303
68.218	1.37365	3.15	85-0695; 72-1234; 84-1303

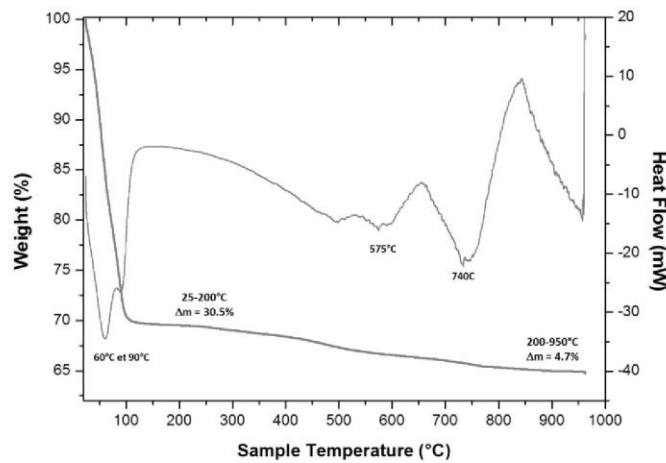
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz.

**MEB :**






**ATG :**



**Figure 16.** ATG de l'échantillon C5-1-2-A.

Nous observons une première perte de masse d'environ 30% (avec 2 phénomènes exothermiques observés à 60°C et 90°C), suivie d'une seconde de l'ordre de 5% entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Magnésium, Chlore, Soufre, Calcium, Sodium, Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 30.5\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 4.7\%$

**Comparaisons et discussion.**

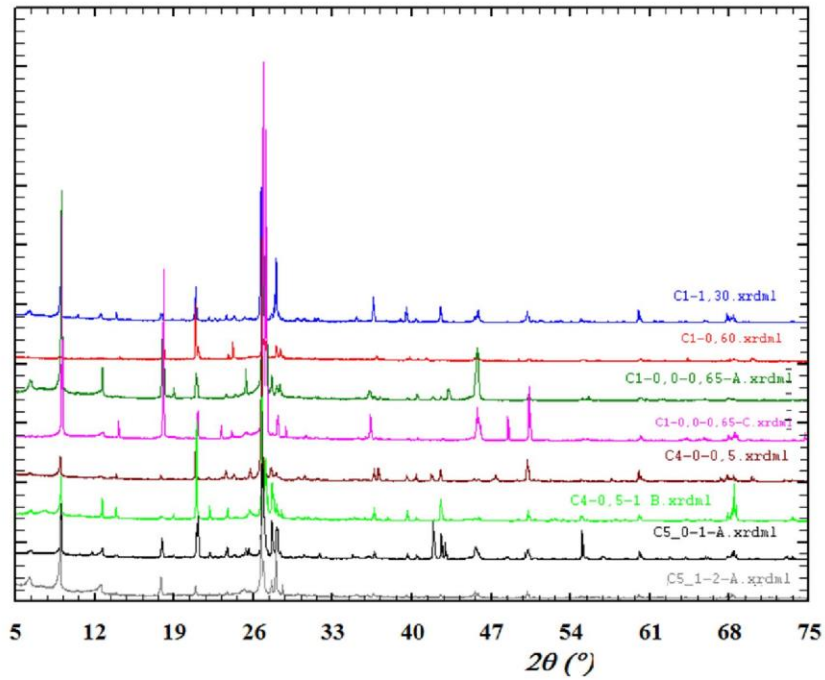


Figure 17. Comparaison des diagrammes DRX des 8 échantillons.

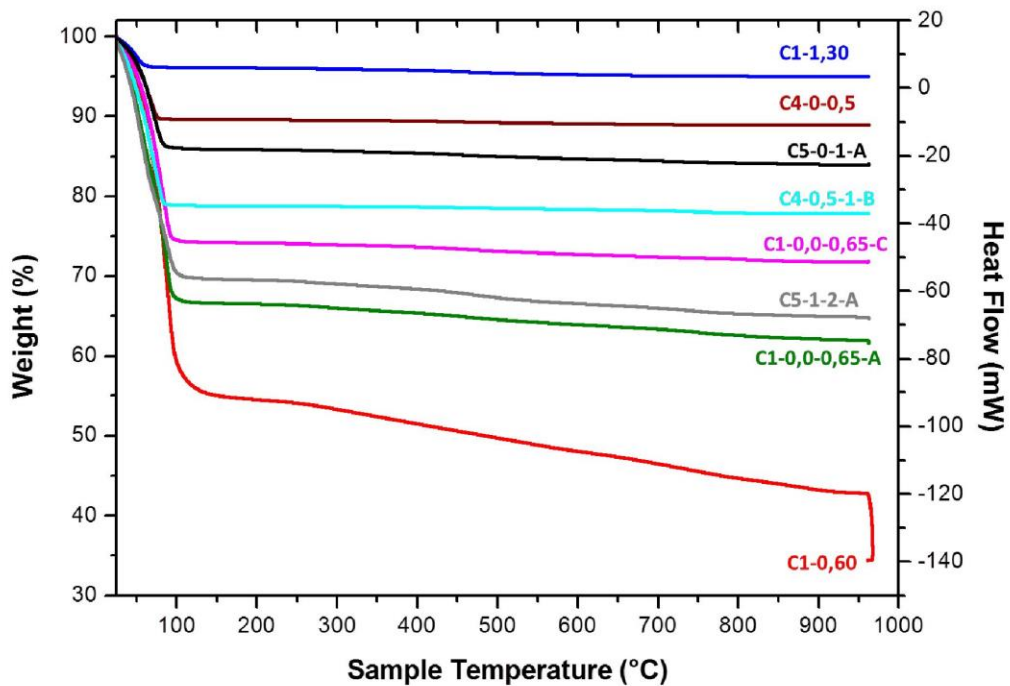


Figure 18. Comparaison ATG des 8 échantillons.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

	DRX	MEB	ATG
<b>C1-1,30</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Mg, Ti, Na	25-200°C, $\Delta m = 4\%$ 200-950°C, $\Delta m = 1\%$
<b>C1-0,60</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Ca, Ti, S	25-200°C, $\Delta m = 45.4\%$ 200-950°C, $\Delta m = 22.3\%$
<b>C1-0,0-0,65-A</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Mg, Ti, S	25-200°C, $\Delta m = 34.4\%$ 200-950°C, $\Delta m = 3.7\%$
<b>C1-0,0-0,65-C</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz, Brookite ?	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Na, Ti, S	25-200°C, $\Delta m = 25.8\%$ 200-950°C, $\Delta m = 2.4\%$
<b>C4-0-0,5</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Na, Cl	25-200°C, $\Delta m = 10.4\%$ 200-950°C, $\Delta m = 0.7\%$
<b>C4-0,5-1-B</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Na, Ti	25-200°C, $\Delta m = 21.2\%$ 200-950°C, $\Delta m = 1\%$
<b>C5-0-1-A</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Mg, Ca, S	25-200°C, $\Delta m = 14.1\%$ 200-950°C, $\Delta m = 2\%$
<b>C5-1-2-A</b>	Muscovite, Chlorite, Quartz	Base Al, Si, K, Fe Traces de Cl, Mg, Ti, Na, S, Ca	25-200°C, $\Delta m = 30.5\%$ 200-950°C, $\Delta m = 4.7\%$

Au niveau DRX, nous serions en présence de muscovite, de chlorite et de quartz.

Pour ce qui concerne les observations par MEB, nous serions en présence d'une base majoritairement constitué de Silicium, Potassium, Fer et Aluminium. La présence de Magnésium et de Titane a pu être observée également selon les clichés.

**L'ensemble des données brutes a été transmis aux formats .xrdml et .xlsx**

#### Opérateurs :

F.Le Dret / S.Freslon

6 Juillet 2017

## Rapport d'Analyse CISMA\_002

---

**Essai réalisé sur :** **A la demande de :** Malalaso Rodomond / Damien Rangeard, PFT

5 échantillons

Réception de la demande : 19 mai 2017

Réception des échantillons : 19 mai 2017

---

**Échantillons :**

- C2 <-3
- C3 <-3 (bas)
- C3-0,01
- C3-0,51
- C3-1,00

---

### Nature des essais

Déterminer les composants de chacun de ces 5 échantillons.

---

### Diffraction des rayons X.

Les diagrammes de diffraction des rayons X sur poudre ont été enregistrés sur un diffractomètre  $\theta-\theta$  PANalytical X'PERT PRO MPD équipé d'un tube PANalytical à anticathode de Cu (45kV-40mA) filtré par du Ni ( $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$ ) et d'un détecteur rapide à haute résolution RTMS PANalytical X'Celerator en mode scanning (2.2mm de longueur active).

Les diagrammes ainsi obtenus en 1h sont rapportés sur les figures ci-dessous.

Des analyses de phases de ce diagramme ont ensuite été effectuées à l'aide du logiciel PANalytical X'pert HighScore à partir de la base de données ICDD PDF-2 (2000).

### Observations MEB, analyses élémentaires.

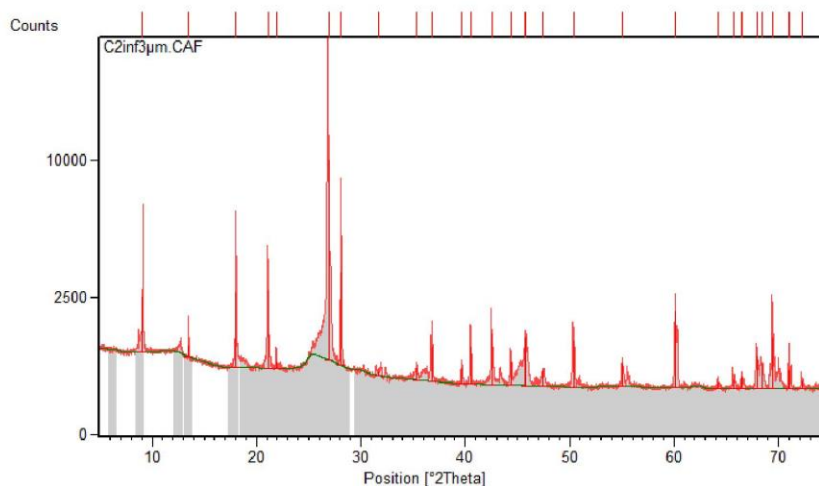
Les observations et analyses élémentaires ont été effectuées à l'aide du microscope électronique à balayage "Hitachi TM-1000". A noter que notre système EDS ne nous permet pas de doser les éléments plus légers que le Sodium (tels que le Carbone ou l'Oxygène par exemple). L'échantillon a été collé sur disque carbone, lui-même apposé sur un plot aluminium.

### Analyse Thermique.

L'analyse thermique a été effectuée à l'aide d'une ATG Pyris Perkin Elmer sur cet échantillon dans une nacelle en Platine. Elle a été effectuée sous diazote entre 25 et 950°C avec une rampe de chauffe de 300°C $\cdot$ h $^{-1}$  suivi d'un palier de 15 minutes, sous air synthétique à 950°C.

**C2 <-3**

**DRX**



**Figure 1.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C2 <-3.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1564	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
81-0463	Goethite	FeO(OH)

Tableau d'indexation:

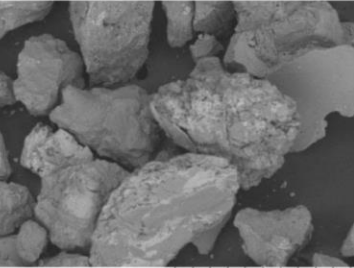
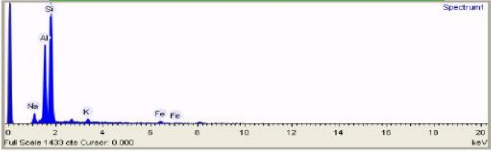
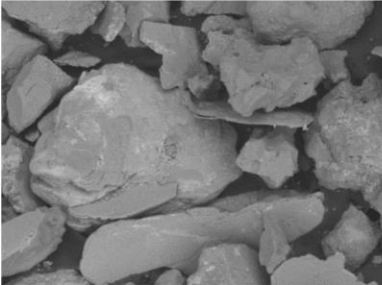
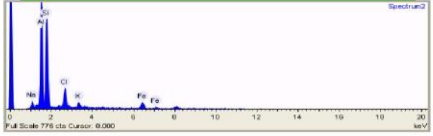
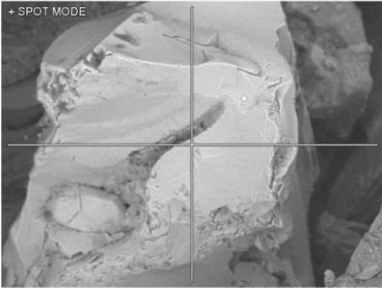
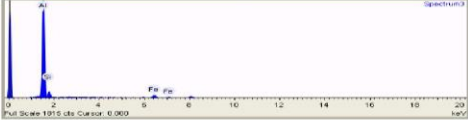
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
9.0646	9.75607	17.7	84-1303
13.4716	6.57286	2.79	82-1564
18.0292	4.92025	22.8	82-1564; 81-0463; 84-1303
21.11	4.20865	24.04	81-0463
21.974	4.04507	1.47	72-1234; 84-1303
26.886	3.31617	100	82-1564; 72-1234; 84-1303
28.1023	3.17535	31.24	72-1234; 84-1303
31.7381	2.8194	0.84	72-1234; 84-1303
35.2763	2.54431	2.24	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
36.7931	2.44283	7.19	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
39.6566	2.27279	2.71	72-1234; 81-0463; 84-1303
40.5011	2.22733	7.53	82-1564; 72-1234; 84-1303
42.5571	2.12436	11.1	82-1564; 72-1234; 84-1303
44.3407	2.04297	4.07	82-1564; 72-1234; 84-1303
45.7847	1.98184	10.35	82-1564; 84-1303
47.4533	1.91597	2.65	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
50.3582	1.81205	9.65	72-1234; 81-0463
55.0568	1.66802	3.97	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
60.1636	1.53807	18.93	82-1564; 72-1234; 84-1303
64.2077	1.45061	1.01	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303

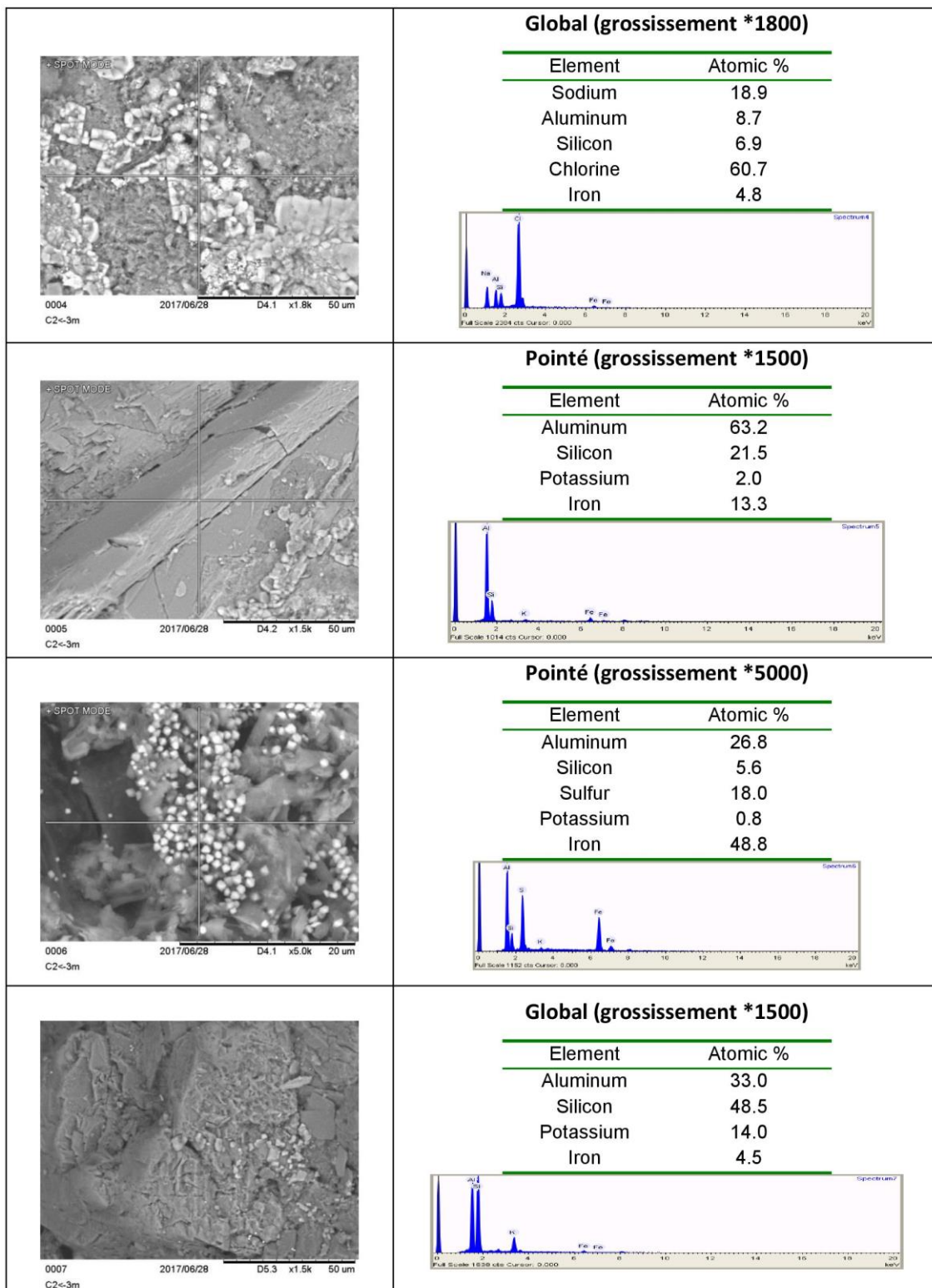


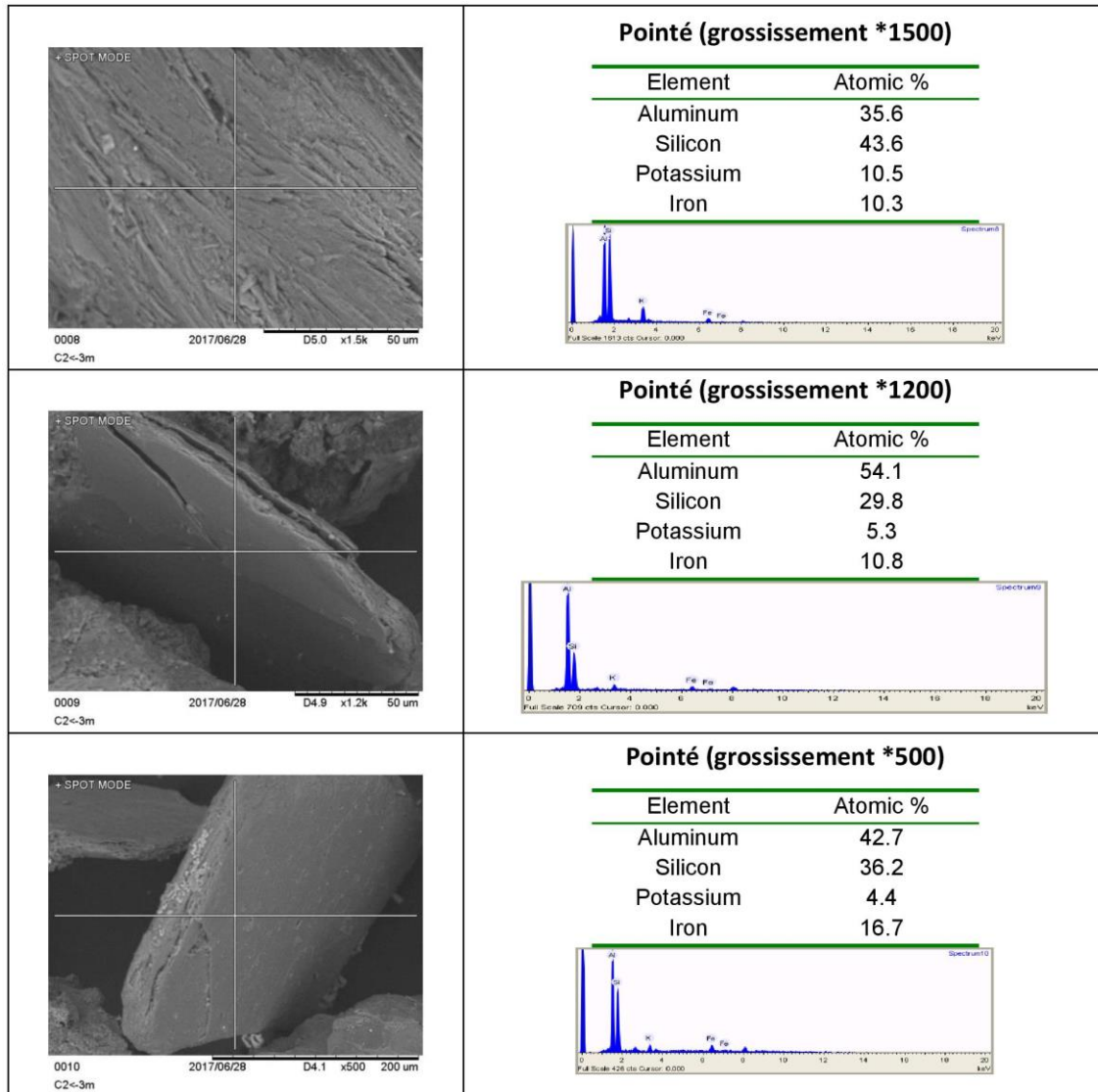
65.6691	1.42183	1.34	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
66.4968	1.40613	2.05	82-1564; 72-1234; 84-1303
67.924	1.38002	5.87	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
68.3749	1.37201	4.15	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
69.3932	1.35435	10.61	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
71.0683	1.32649	3.05	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303
72.2385	1.30677	1.1	82-1564; 72-1234; 81-0463; 84-1303

Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite, de Quartz mais également de Goethite.

**MEB :**

 <p>0001 2017/06/28 D5.3 x180 500 um C2&lt;-3m</p>	<p><b>Global (grossissement *180)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>6.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>28.5</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>57.6</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>2.2</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>5.6</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Full Scale 1433 cts Cursor: 0.000</p>	Element	Atomic %	Sodium	6.1	Aluminum	28.5	Silicon	57.6	Potassium	2.2	Iron	5.6		
Element	Atomic %														
Sodium	6.1														
Aluminum	28.5														
Silicon	57.6														
Potassium	2.2														
Iron	5.6														
 <p>0002 2017/06/28 D5.0 x120 500 um C2&lt;-3m</p>	<p><b>Global (grossissement *120)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>32.5</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>37.9</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>10.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>12.9</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>2.3</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Full Scale 778 cts Cursor: 0.000</p>	Element	Atomic %	Sodium	3.9	Aluminum	32.5	Silicon	37.9	Chlorine	10.5	Potassium	12.9	Iron	2.3
Element	Atomic %														
Sodium	3.9														
Aluminum	32.5														
Silicon	37.9														
Chlorine	10.5														
Potassium	12.9														
Iron	2.3														
<p>+ SPOT MODE</p>  <p>0003 2017/06/28 D3.6 x600 100 um C2&lt;-3m</p>	<p><b>Pointé (grossissement *600)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>77.9</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>9.4</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>12.7</td> </tr> </tbody> </table>  <p>Full Scale 1815 cts Cursor: 0.000</p>	Element	Atomic %	Aluminum	77.9	Silicon	9.4	Iron	12.7						
Element	Atomic %														
Aluminum	77.9														
Silicon	9.4														
Iron	12.7														





**ATG :**

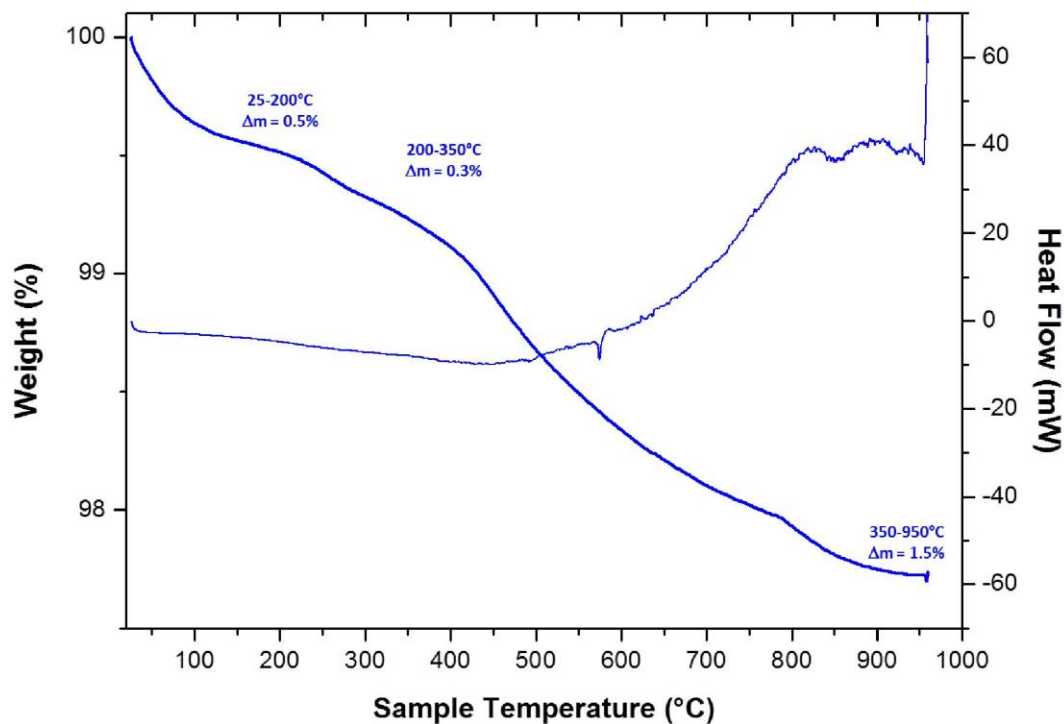
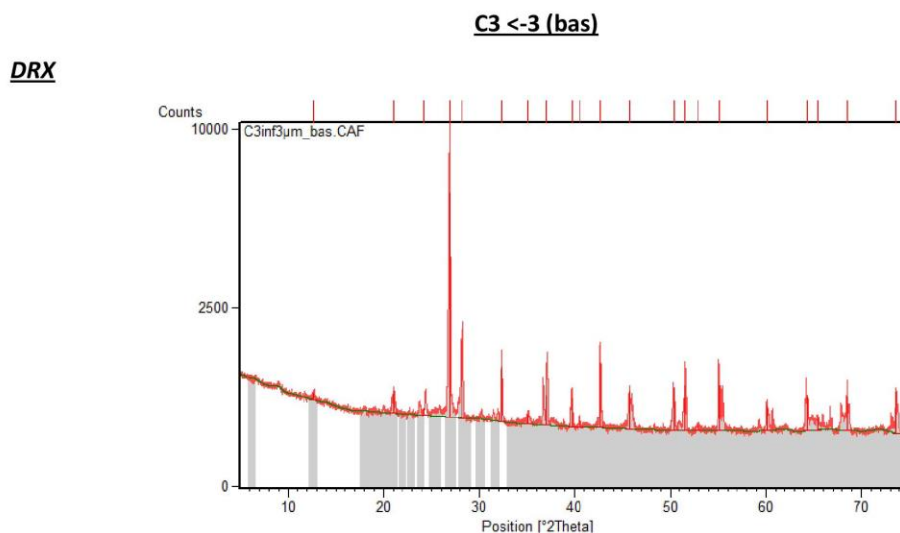


Figure 2. ATG de l'échantillon C2 <-3.

Nous observons une première perte de masse d'environ 0.5 entre l'ambiante et 200°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 0.3 % entre 200°C et 350°C. Une dernière perte de masse de l'ordre de 1.5% est observée entre 350°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Quartz , Muscovite, Chlorite, Goethite
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Sodium, Chlore, et Soufre
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 0.5\%$ Entre 200 et 350°C, $\Delta m = 0.3\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 1.5\%$



**Figure 3.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C3 <-3 (bas).

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

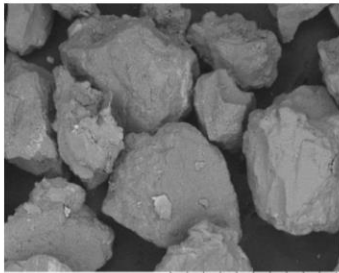
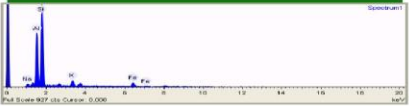
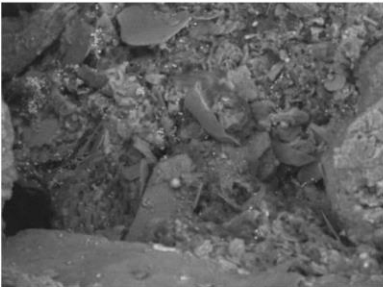
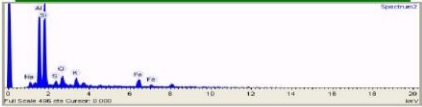
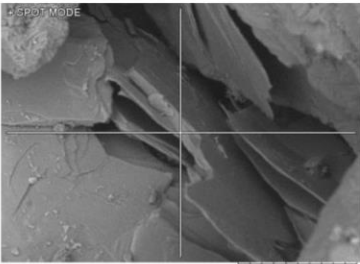
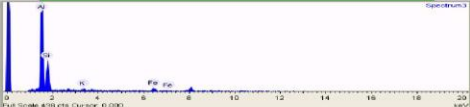
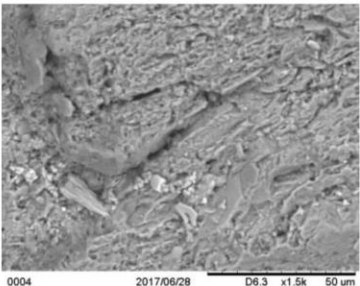
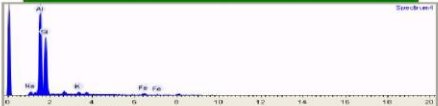
Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
78-1254	Quartz	SiO <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
76-1743	Pseudobrookite	Fe <sub>2</sub> TiO <sub>5</sub>

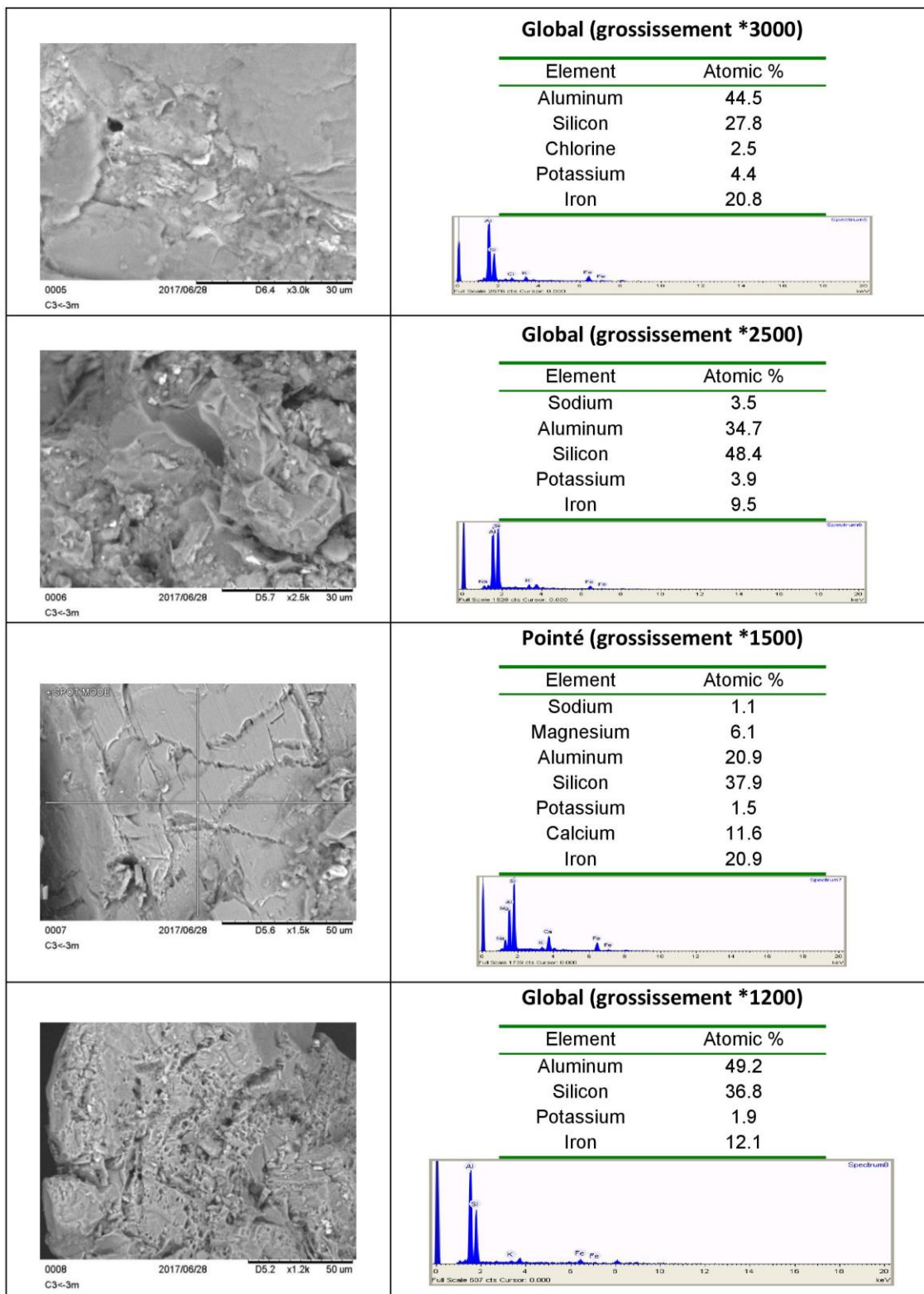
Tableau d'indexation:

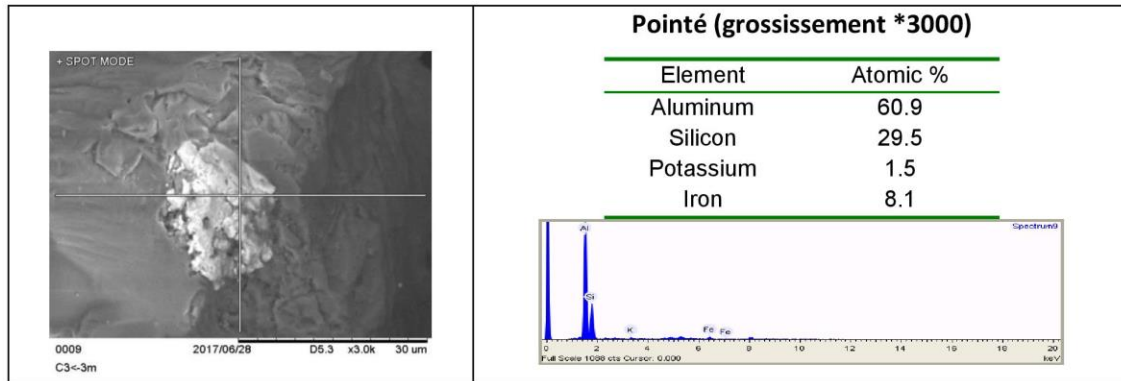
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
12.6877	6.97711	1.69	72-1234; 76-1743
21.0621	4.21812	4.73	78-1254; 72-1234
24.1664	3.68285	1.34	72-1234
26.8819	3.31667	100	78-1254; 72-1234; 76-1743
28.1763	3.16717	20.53	72-1234; 76-1743
32.3711	2.76571	12.46	72-1234
35.1497	2.55318	1.68	72-1234; 76-1743
37.0526	2.42632	5.73	78-1254; 72-1234
39.6833	2.27133	5.21	78-1254; 72-1234
40.4927	2.22777	1.15	78-1254; 72-1234; 76-1743
42.693	2.11792	14.69	78-1254; 72-1234
45.7089	1.98495	7.22	76-1743
50.3443	1.81252	8.19	78-1254; 72-1234; 76-1743
51.573	1.77219	8.94	72-1234
52.8473	1.73242	0.85	72-1234; 76-1743
55.1737	1.66476	8.92	78-1254; 72-1234; 76-1743
60.1479	1.53844	4.17	78-1254; 72-1234; 76-1743
64.2704	1.44935	6.5	78-1254; 72-1234; 76-1743
65.4219	1.4266	1.67	72-1234; 76-1743
68.5554	1.36884	6.05	78-1254; 72-1234; 76-1743
73.6342	1.28541	7.68	78-1254; 72-1234; 76-1743

Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Quartz, de Chlorite mais également de Pseudobrookite.

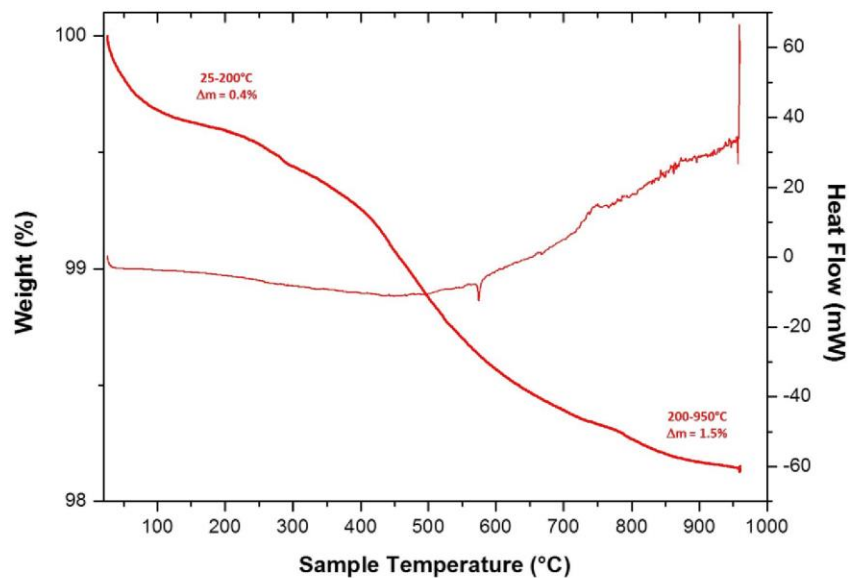
**MEB :**

 <p>0001 2017/06/28 D5.6 x180 500 um C3&lt;-3m</p>	<p><b>Global (grossissement *1800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>2.6</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>27.0</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>53.4</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>11.9</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	2.6	Aluminum	27.0	Silicon	53.4	Potassium	5.1	Iron	11.9				
Element	Atomic %																
Sodium	2.6																
Aluminum	27.0																
Silicon	53.4																
Potassium	5.1																
Iron	11.9																
 <p>0002 2017/06/28 D5.7 x1.2k 50 um C3&lt;-3m</p>	<p><b>Global (grossissement *1200)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>3.9</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>28.0</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>36.7</td> </tr> <tr> <td>Sulfur</td> <td>2.4</td> </tr> <tr> <td>Chlorine</td> <td>6.2</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>5.1</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>17.7</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	3.9	Aluminum	28.0	Silicon	36.7	Sulfur	2.4	Chlorine	6.2	Potassium	5.1	Iron	17.7
Element	Atomic %																
Sodium	3.9																
Aluminum	28.0																
Silicon	36.7																
Sulfur	2.4																
Chlorine	6.2																
Potassium	5.1																
Iron	17.7																
 <p>0003 2017/06/28 D5.5 x600 100 um C3&lt;-3m</p>	<p><b>Pointé (grossissement *600)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Aluminum</td> <td>59.2</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>29.5</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>1.7</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>9.6</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	59.2	Silicon	29.5	Potassium	1.7	Iron	9.6						
Element	Atomic %																
Aluminum	59.2																
Silicon	29.5																
Potassium	1.7																
Iron	9.6																
 <p>0004 2017/06/28 D6.3 x1.5k 50 um C3&lt;-3m</p>	<p><b>Global (grossissement *1500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sodium</td> <td>3.1</td> </tr> <tr> <td>Aluminum</td> <td>44.8</td> </tr> <tr> <td>Silicon</td> <td>44.3</td> </tr> <tr> <td>Potassium</td> <td>2.0</td> </tr> <tr> <td>Iron</td> <td>5.8</td> </tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	3.1	Aluminum	44.8	Silicon	44.3	Potassium	2.0	Iron	5.8				
Element	Atomic %																
Sodium	3.1																
Aluminum	44.8																
Silicon	44.3																
Potassium	2.0																
Iron	5.8																





**ATG :**



**Figure 4.** ATG de l'échantillon C3 <-3 (bas).

Nous observons une première perte de masse de l'ordre de 0.4% entre l'ambiante et 200°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 1.5 % entre 200°C et 950°C.

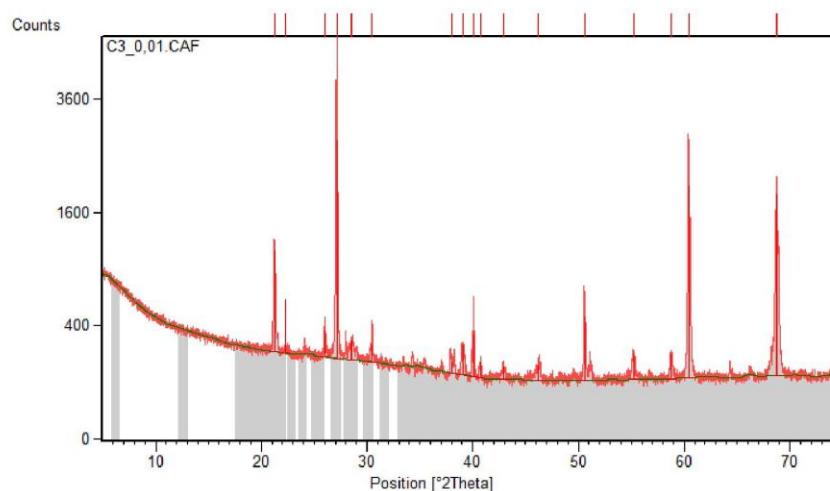
En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Quartz, Chlorite, Pseudobrookite
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Sodium, Chlore, Magnésium, Soufre et Calcium
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 0.4\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 1.5\%$



**C3-0,01**

**DRX**



**Figure 5.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C3-0,01.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

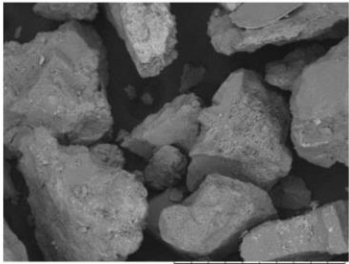

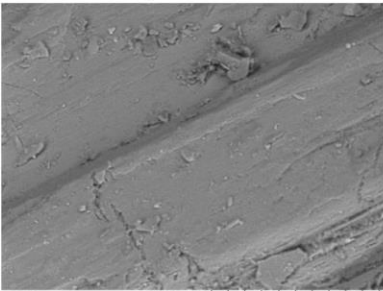
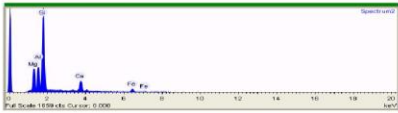
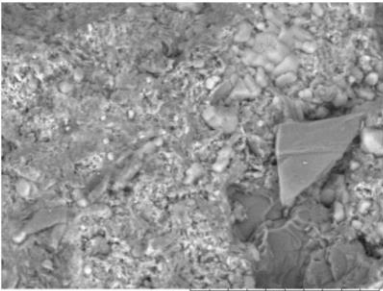
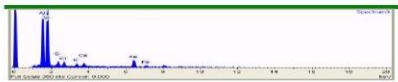
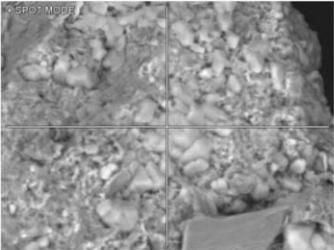
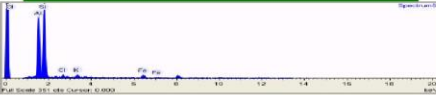
Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
83-2471	Quartz	SiO <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
76-1743	Pseudobrookite	Fe <sub>2</sub> TiO <sub>5</sub>

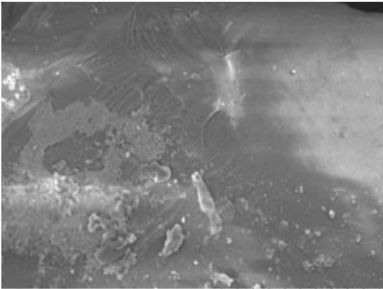

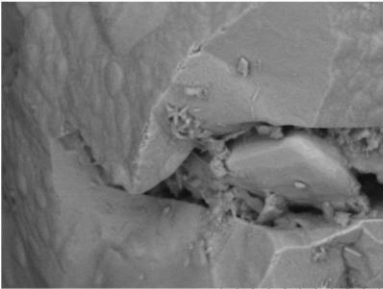
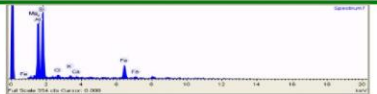
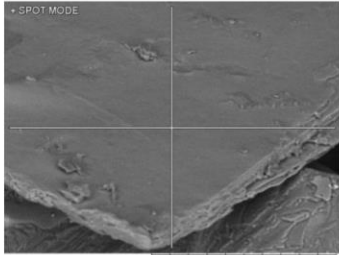

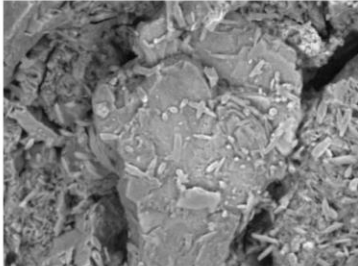
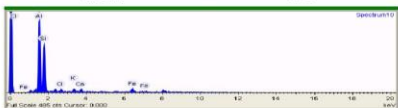
Tableau d'indexation:

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
21.26	4.1793	33.69	83-2471
22.27	3.99197	14.79	72-1234
26.0304	3.4232	6.27	72-1234
27.1352	3.28628	100	72-1234; 76-1743; 83-2471
28.5763	3.12375	4.24	76-1743
30.4438	2.93626	3.72	72-1234
38.0441	2.36533	2.01	72-1234; 76-1743
39.0671	2.30572	5.72	72-1234; 76-1743
40.0357	2.25214	8.79	72-1234; 83-2471
40.7249	2.21561	2.7	72-1234; 76-1743; 83-2471
42.9154	2.10746	2	72-1234; 83-2471
46.2211	1.96414	2.43	76-1743
50.5818	1.80457	14.33	72-1234; 76-1743
55.2175	1.66354	4.61	72-1234; 76-1743
58.7696	1.57118	4.41	72-1234; 76-1743
60.4359	1.53179	73.36	72-1234; 76-1743
68.7189	1.36485	67.38	72-1234; 76-1743; 83-2471

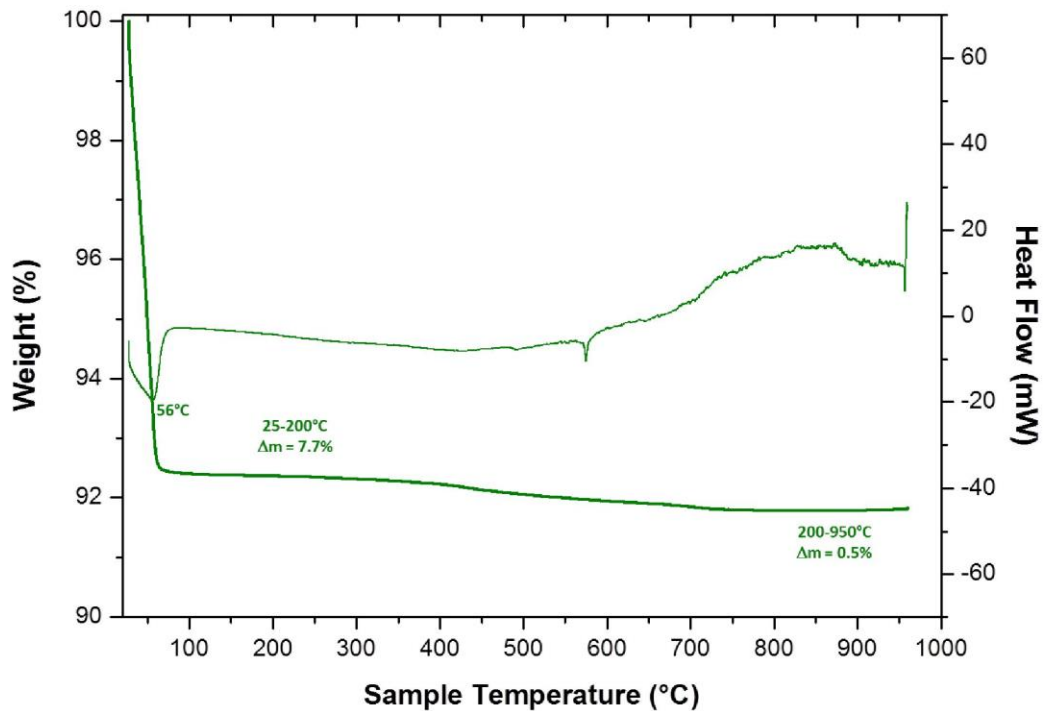
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Quartz, de Chlorite mais également de Pseudobrookite.

**MEB :**

 <p>0001 2017/06/28 D4.7 x180 500 um</p>	<p><b>Global (grossissement *180)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Sodium</td><td>3.4</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>25.5</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>58.3</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>3.8</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>3.1</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>5.9</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	3.4	Aluminum	25.5	Silicon	58.3	Chlorine	3.8	Potassium	3.1	Iron	5.9		
Element	Atomic %																
Sodium	3.4																
Aluminum	25.5																
Silicon	58.3																
Chlorine	3.8																
Potassium	3.1																
Iron	5.9																
 <p>0002 2017/06/28 D5.1 x800 100 um</p>	<p><b>Global (grossissement *800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Magnesium</td><td>17.3</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>14.9</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>54.8</td></tr> <tr><td>Calcium</td><td>8.3</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>4.7</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Magnesium	17.3	Aluminum	14.9	Silicon	54.8	Calcium	8.3	Iron	4.7				
Element	Atomic %																
Magnesium	17.3																
Aluminum	14.9																
Silicon	54.8																
Calcium	8.3																
Iron	4.7																
 <p>0003 2017/06/28 D4.9 x1.8k 50 um</p>	<p><b>Global (grossissement *1800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aluminum</td><td>33.1</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>43.0</td></tr> <tr><td>Sulfur</td><td>3.3</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>3.1</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>1.7</td></tr> <tr><td>Calcium</td><td>2.3</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>13.5</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	33.1	Silicon	43.0	Sulfur	3.3	Chlorine	3.1	Potassium	1.7	Calcium	2.3	Iron	13.5
Element	Atomic %																
Aluminum	33.1																
Silicon	43.0																
Sulfur	3.3																
Chlorine	3.1																
Potassium	1.7																
Calcium	2.3																
Iron	13.5																
 <p>0005 2017/06/28 D4.9 x2.5k 30 um</p>	<p><b>Pointé (grossissement *2500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aluminum</td><td>36.1</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>54.8</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>5.5</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	36.1	Silicon	54.8	Chlorine	1.8	Potassium	1.8	Iron	5.5				
Element	Atomic %																
Aluminum	36.1																
Silicon	54.8																
Chlorine	1.8																
Potassium	1.8																
Iron	5.5																

 <p>0006 2017/06/28 D5.7 x1.5k 50 um</p>	<p><b>Global (grossissement *1500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Magnesium</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>16.6</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>71.2</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>2.9</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>7.1</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Magnesium	1.1	Aluminum	16.6	Silicon	71.2	Chlorine	2.9	Potassium	1.1	Iron	7.1		
Element	Atomic %																
Magnesium	1.1																
Aluminum	16.6																
Silicon	71.2																
Chlorine	2.9																
Potassium	1.1																
Iron	7.1																
 <p>0007 2017/06/28 D5.8 x2.5k 30 um</p>	<p><b>Global (grossissement *2500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Magnesium</td><td>2.0</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>35.7</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>41.8</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>1.3</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>1.1</td></tr> <tr><td>Calcium</td><td>0.9</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>17.2</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Magnesium	2.0	Aluminum	35.7	Silicon	41.8	Chlorine	1.3	Potassium	1.1	Calcium	0.9	Iron	17.2
Element	Atomic %																
Magnesium	2.0																
Aluminum	35.7																
Silicon	41.8																
Chlorine	1.3																
Potassium	1.1																
Calcium	0.9																
Iron	17.2																
 <p>0009 2017/06/28 D6.3 x1.0k 100 um</p>	<p><b>Pointé (grossissement *1000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Magnesium</td><td>5.2</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>41.6</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>33.3</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>7.9</td></tr> <tr><td>Titanium</td><td>1.5</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>10.5</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Magnesium	5.2	Aluminum	41.6	Silicon	33.3	Potassium	7.9	Titanium	1.5	Iron	10.5		
Element	Atomic %																
Magnesium	5.2																
Aluminum	41.6																
Silicon	33.3																
Potassium	7.9																
Titanium	1.5																
Iron	10.5																
 <p>0010 2017/06/28 D4.5 x1.8k 50 um</p>	<p><b>Global (grossissement *1500)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aluminum</td><td>47.8</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>40.6</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>1.8</td></tr> <tr><td>Calcium</td><td>1.9</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>5.8</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	47.8	Silicon	40.6	Chlorine	2.1	Potassium	1.8	Calcium	1.9	Iron	5.8		
Element	Atomic %																
Aluminum	47.8																
Silicon	40.6																
Chlorine	2.1																
Potassium	1.8																
Calcium	1.9																
Iron	5.8																

**ATG :**



**Figure 6.** ATG de l'échantillon C3-0,01.

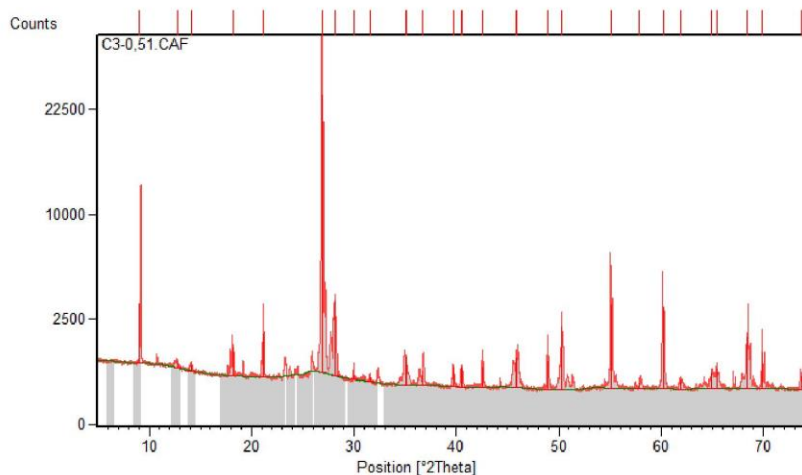
Nous observons une première perte de masse d'environ 8% avec 1 phénomène exothermique centré sur 56°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 0.5 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Quartz, Chlorite, Pseudobrookite
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Calcium, Chlore, Magnésium, Sodium, Soufre et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 7.7\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 0.5\%$

**C3-0,51**

**DRX**



**Figure 7.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C3-0,51.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
76-1743	Pseudobrookite	Fe <sub>2</sub> TiO <sub>5</sub>

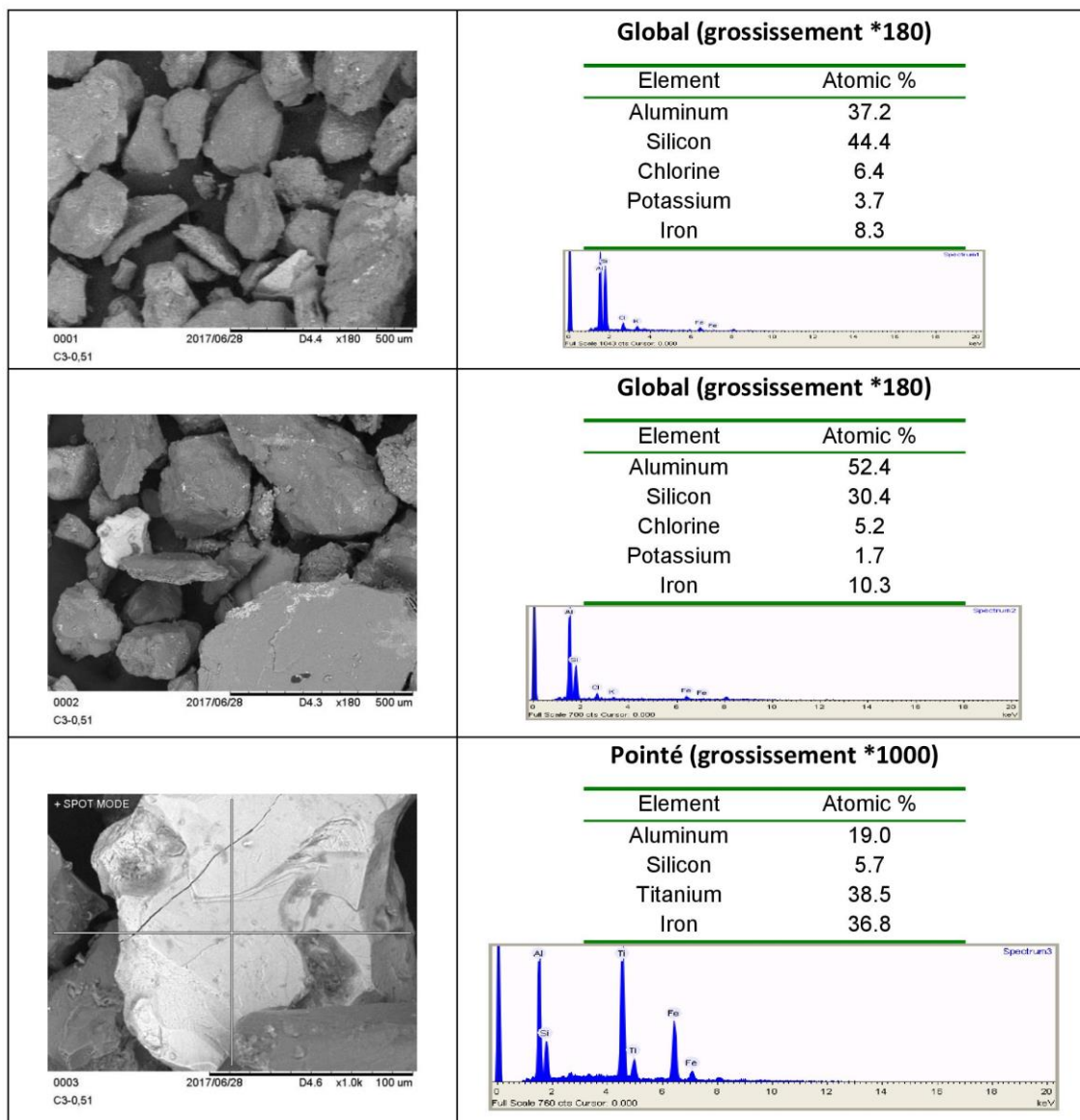
Tableau d'indexation:

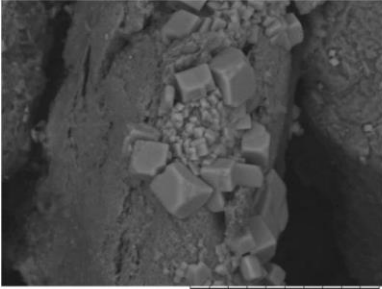
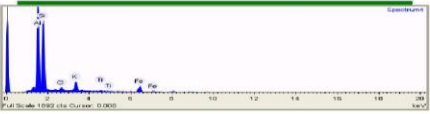
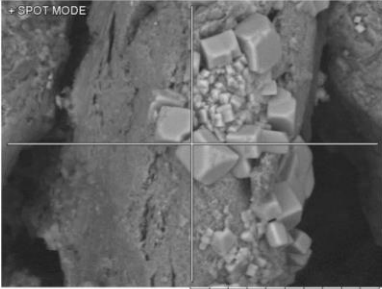

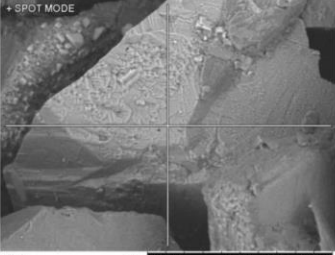
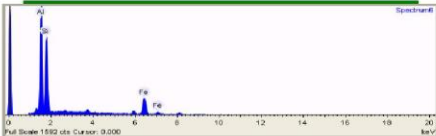
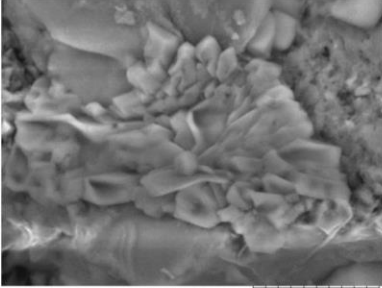
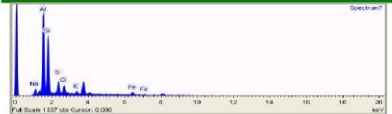
Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
9.0791	9.74056	10.49	84-1303
12.7304	6.9538	0.87	76-1743; 72-1234
14.1084	6.27755	0.74	82-1561
18.1949	4.87584	3.39	76-1743
21.1394	4.20286	5.69	82-1561
26.9397	3.30969	100	76-1743; 72-1234; 84-1303
28.1586	3.16913	12.34	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
30.0188	2.97685	0.49	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
31.5849	2.83273	0.41	72-1234; 84-1303
35.0471	2.56042	2.92	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
36.6831	2.4499	1.33	76-1743; 72-1234; 84-1303
39.696	2.27063	1.85	72-1234; 82-1561; 84-1303
40.5169	2.2265	1.83	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
42.5963	2.1225	1.8	72-1234; 82-1561; 84-1303
45.8791	1.97798	2.97	76-1743; 82-1561; 84-1303
48.9503	1.86083	2.7	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303

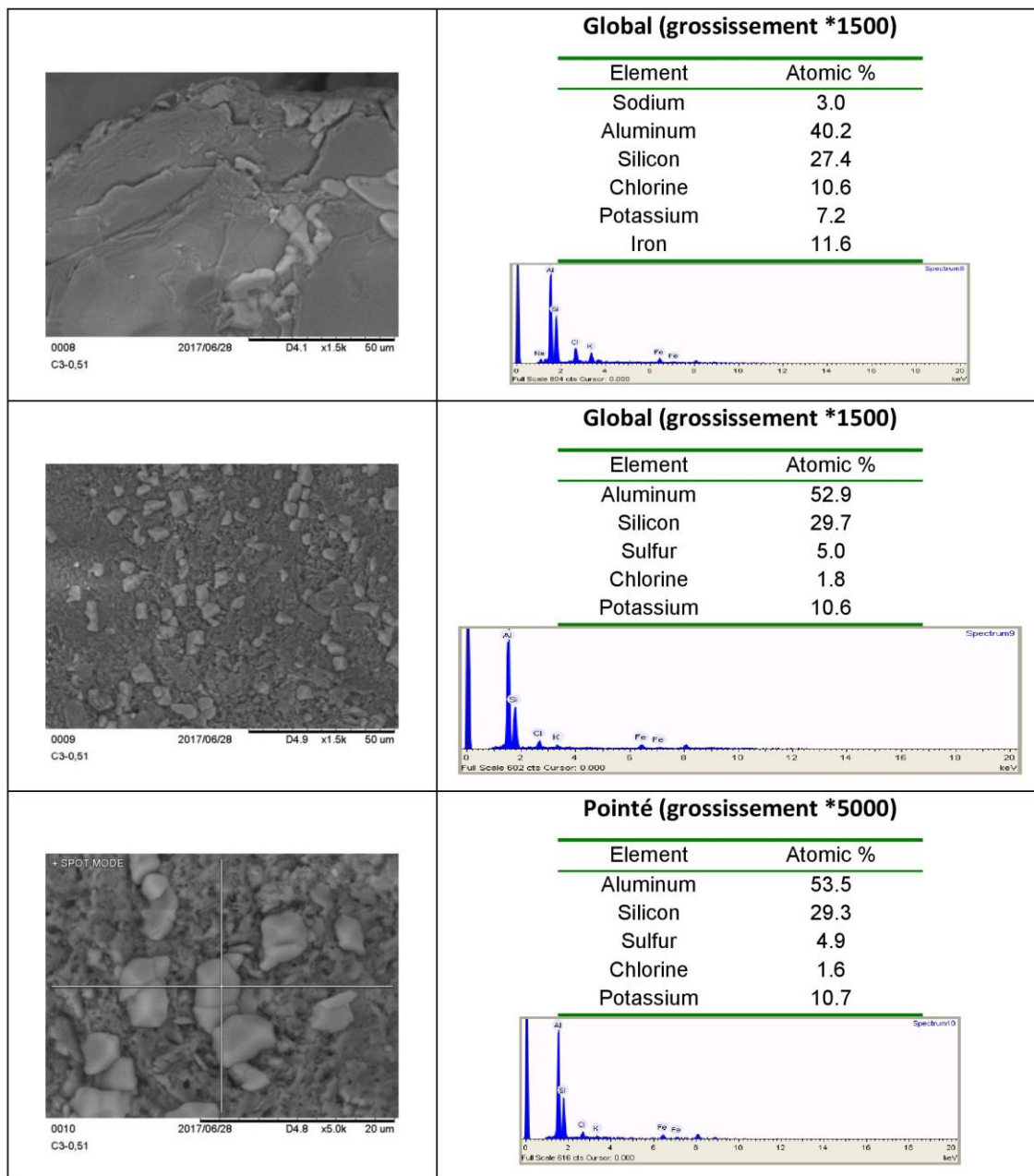
50.3297	1.81301	7.95	72-1234; 82-1561
55.1334	1.66588	12.29	76-1743; 72-1234; 84-1303
57.8597	1.59371	0.39	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
60.1999	1.53723	11.92	76-1743; 72-1234; 84-1303
61.9142	1.49872	0.79	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
64.9296	1.43622	1.34	72-1234; 82-1561; 84-1303
65.4856	1.42537	1.81	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
68.452	1.37066	6.1	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
69.8634	1.34638	3.81	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303
73.7028	1.28545	1.02	76-1743; 72-1234; 82-1561; 84-1303

Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Muscovite, de Chlorite mais également de Quartz et Pseudobrookite.

**MEB :**

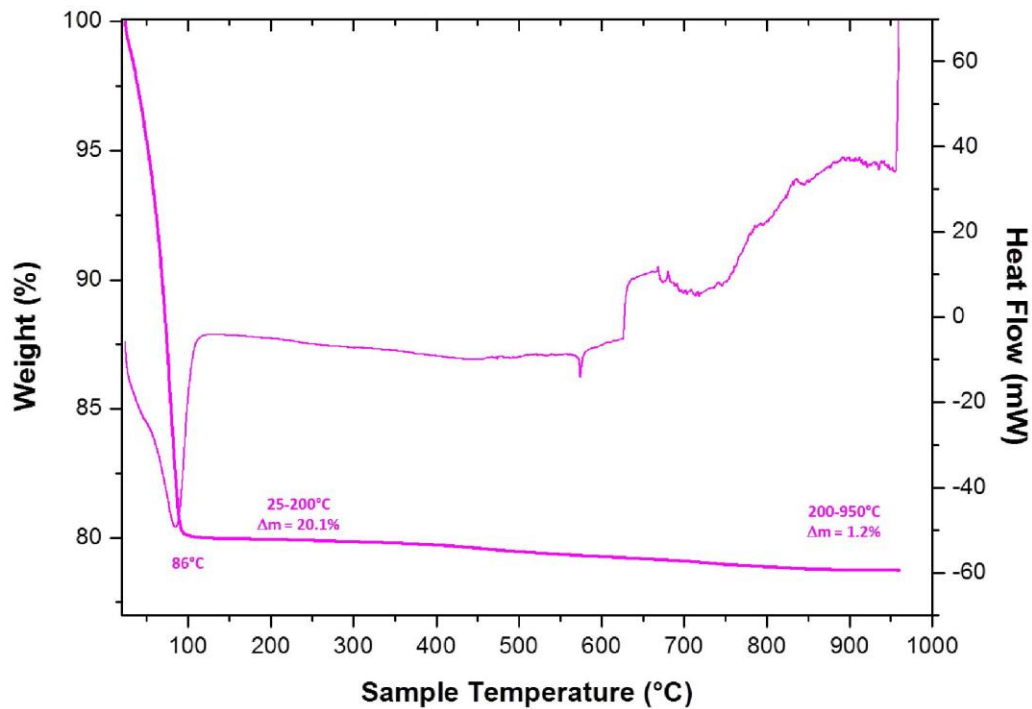


 <p>0004 2017/06/28 D4.5 x1.8k 50 um C3-0,51</p>	<p><b>Global (grossissement *1800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aluminum</td><td>35.5</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>40.4</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>7.5</td></tr> <tr><td>Titanium</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>13.5</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	35.5	Silicon	40.4	Chlorine	2.1	Potassium	7.5	Titanium	1.0	Iron	13.5		
Element	Atomic %																
Aluminum	35.5																
Silicon	40.4																
Chlorine	2.1																
Potassium	7.5																
Titanium	1.0																
Iron	13.5																
 <p>0005 2017/06/28 D4.5 x1.8k 50 um C3-0,51</p>	<p><b>Pointé (grossissement *1800)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Sodium</td><td>20.2</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>10.8</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>3.6</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>63.8</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>1.6</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	20.2	Aluminum	10.8	Silicon	3.6	Chlorine	63.8	Iron	1.6				
Element	Atomic %																
Sodium	20.2																
Aluminum	10.8																
Silicon	3.6																
Chlorine	63.8																
Iron	1.6																
 <p>0006 2017/06/28 D3.9 x1.0k 100 um C3-0,51</p>	<p><b>Pointé (grossissement *1000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Aluminum</td><td>36.1</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>32.5</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>31.4</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Aluminum	36.1	Silicon	32.5	Iron	31.4								
Element	Atomic %																
Aluminum	36.1																
Silicon	32.5																
Iron	31.4																
 <p>0007 2017/06/28 D3.8 x6.0k 10 um C3-0,51</p>	<p><b>Global (grossissement *6000)</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Element</th> <th>Atomic %</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Sodium</td><td>3.6</td></tr> <tr><td>Aluminum</td><td>38.0</td></tr> <tr><td>Silicon</td><td>34.1</td></tr> <tr><td>Sulfur</td><td>8.9</td></tr> <tr><td>Chlorine</td><td>6.7</td></tr> <tr><td>Potassium</td><td>2.1</td></tr> <tr><td>Iron</td><td>6.6</td></tr> </tbody> </table> 	Element	Atomic %	Sodium	3.6	Aluminum	38.0	Silicon	34.1	Sulfur	8.9	Chlorine	6.7	Potassium	2.1	Iron	6.6
Element	Atomic %																
Sodium	3.6																
Aluminum	38.0																
Silicon	34.1																
Sulfur	8.9																
Chlorine	6.7																
Potassium	2.1																
Iron	6.6																





**ATG :**



**Figure 8.** ATG de l'échantillon C3-0,51.

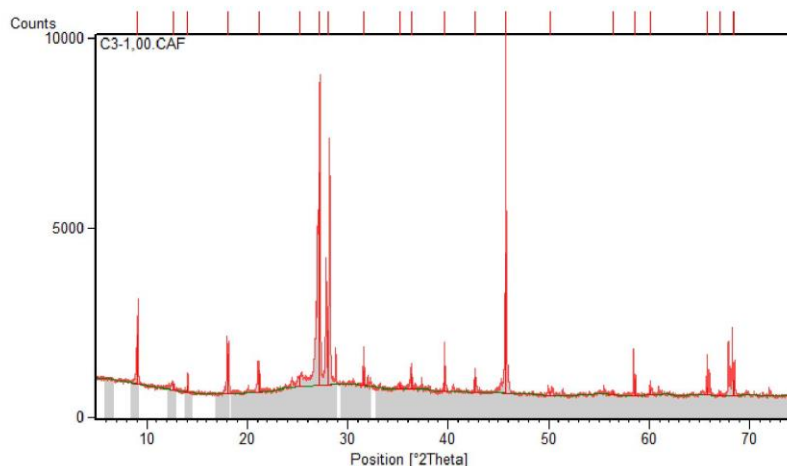
Nous observons une première perte de masse d'environ 20%, centrée sur 86°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 1 % entre 200°C et 950°C.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Quartz, Muscovite, Chlorite, Pseudobrookite
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Sodium, Chlore, Soufre et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 20.1\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 1.2\%$

**C3-1,00**

**DRX**



**Figure 9.** Diagramme de diffraction des RX de l'échantillon C3-1,00.

Ce diagramme peut être indexé à l'aide des fiches suivantes :

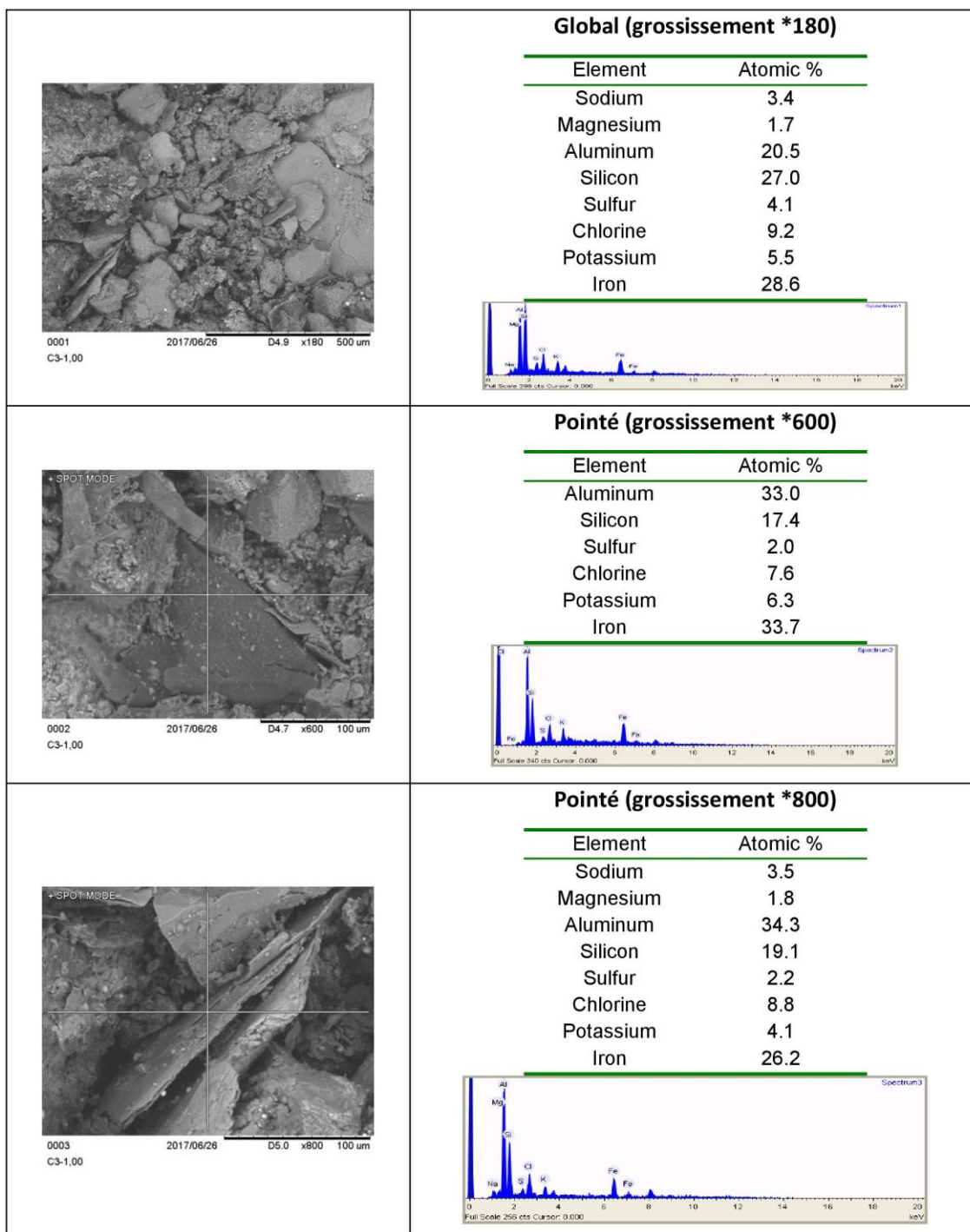
Ref. Code	Compound Name	Chemical Formula
82-1561	Silicon Oxide	SiO <sub>2</sub>
84-1303	Muscovite	KAl <sub>2</sub> (Si <sub>3</sub> Al)O <sub>10</sub> (OH) <sub>2</sub>
72-1234	Chlorite	Mg <sub>2.5</sub> Fe <sub>1.65</sub> Al <sub>1.5</sub> Si <sub>2.2</sub> Al <sub>1.8</sub> O <sub>10</sub> (OH) <sub>8</sub>
81-0463	Goethite	FeO(OH)

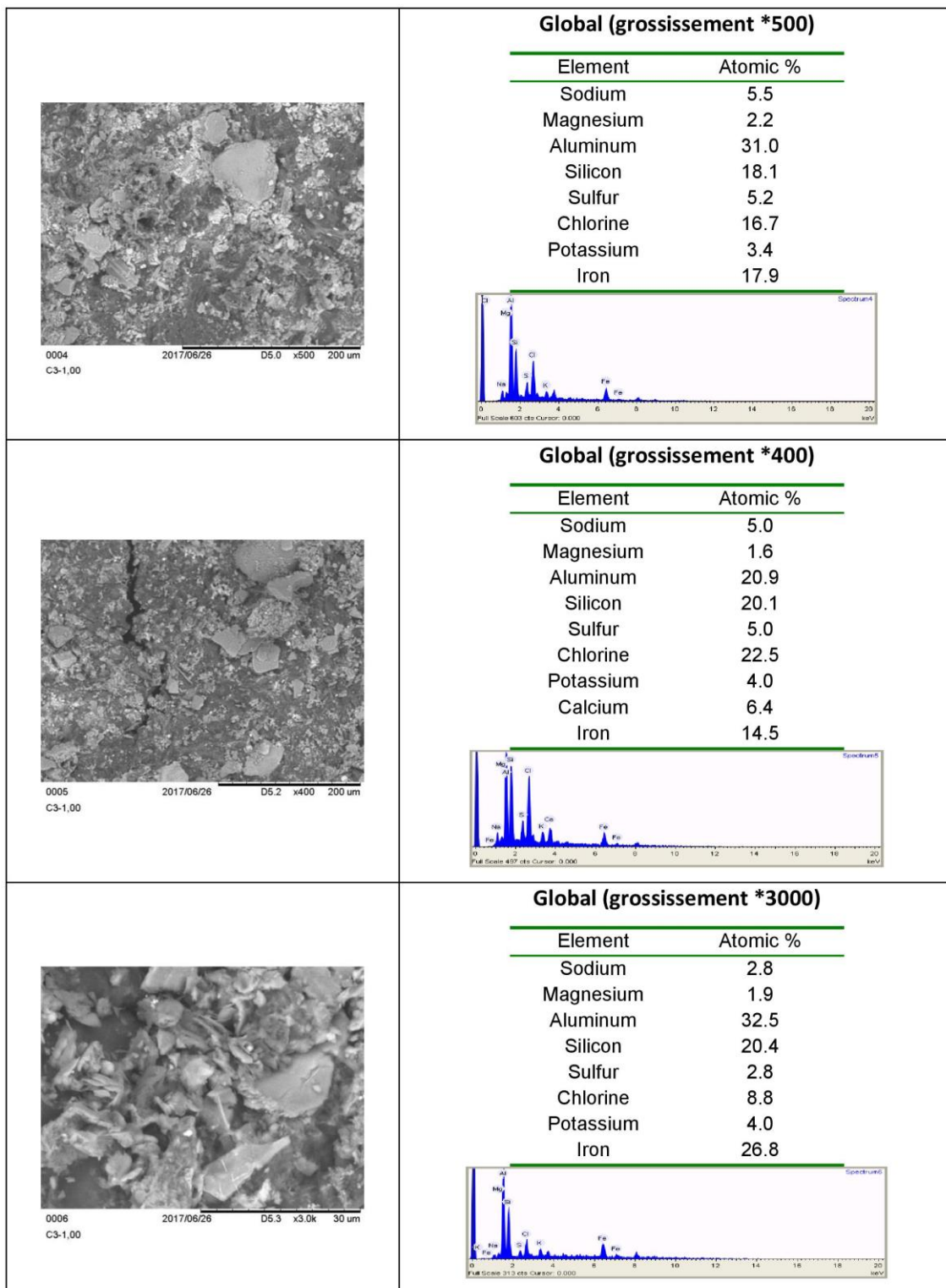
Tableau d'indexation:

Pos. [°2Th.]	d-spacing [Å]	Rel. Int. [%]	Matched by
9.0475	9.77446	23.25	84-1303
12.615	7.01719	2.96	72-1234
14.0477	6.30457	3.31	82-1561
18.0885	4.90428	18.74	81-0463
21.135	4.20373	10.46	82-1561; 81-0463
25.2692	3.52457	5.16	72-1234; 84-1303
27.1993	3.27868	100	72-1234
28.0976	3.17587	25.87	72-1234; 84-1303; 82-1561
31.5615	2.83478	7.36	72-1234; 84-1303
35.204	2.54937	2.27	72-1234; 84-1303; 82-1561; 81-0463
36.3117	2.4741	7.26	72-1234; 84-1303; 82-1561; 81-0463
39.671	2.272	12.37	72-1234; 84-1303; 82-1561; 81-0463
42.7264	2.11634	7.3	72-1234; 84-1303; 82-1561
45.7664	1.98259	65.6	84-1303; 82-1561
50.183	1.81797	1.87	72-1234; 82-1561; 81-0463
56.3654	1.63236	1.48	72-1234; 84-1303; 82-1561
58.5185	1.57733	7.99	72-1234; 84-1303; 82-1561
60.1607	1.53814	2.51	72-1234; 84-1303; 82-1561
65.8463	1.41843	3.97	72-1234; 84-1303; 82-1561; 81-0463
67.0149	1.39651	1.08	72-1234; 84-1303; 82-1561; 81-0463
68.3604	1.37113	7.46	72-1234; 84-1303; 82-1561; 81-0463

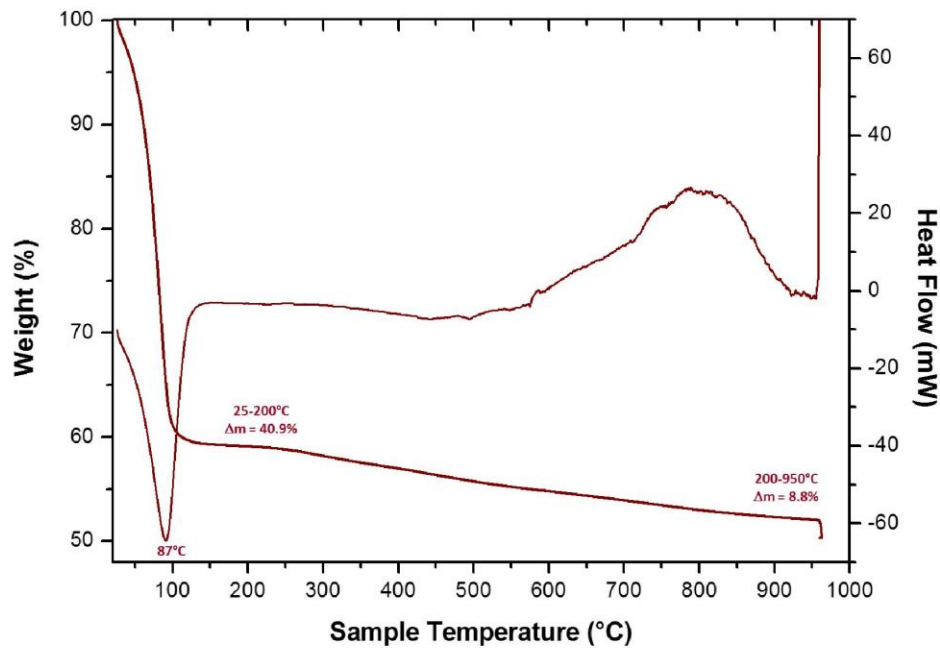
Il ressort de cette indexation que nous serions en présence de Quartz, de Muscovite, de Chlorite mais également de Goethite.

**MEB :**





**ATG :**



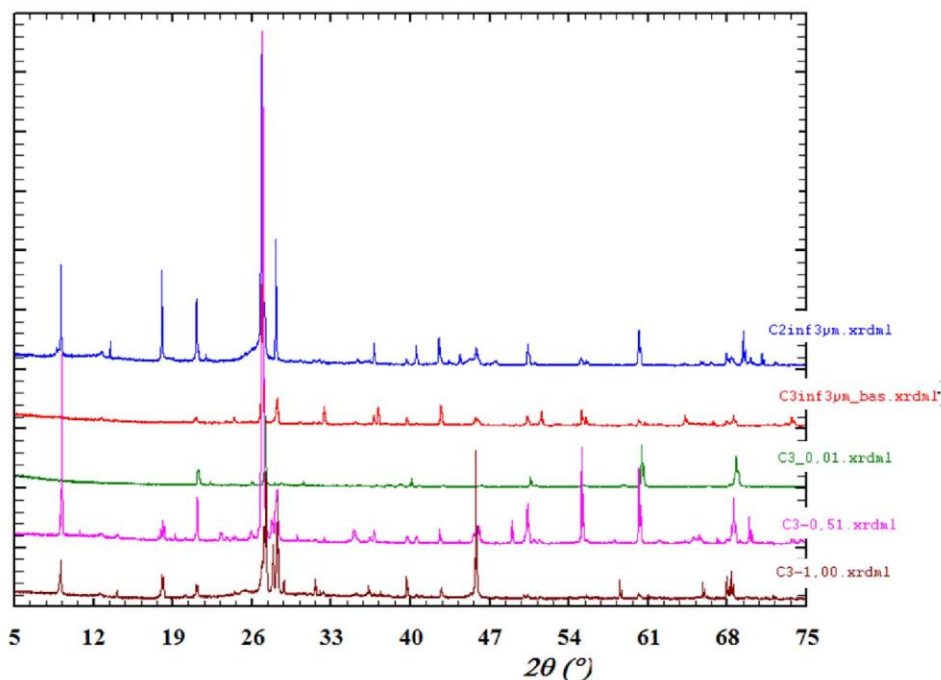
**Figure 10.** ATG de l'échantillon C3-1,00.

Nous observons une première perte de masse d'environ 40%, centrée sur 87°C, suivie d'une seconde de l'ordre de 9 % entre 200°C et 950°C.

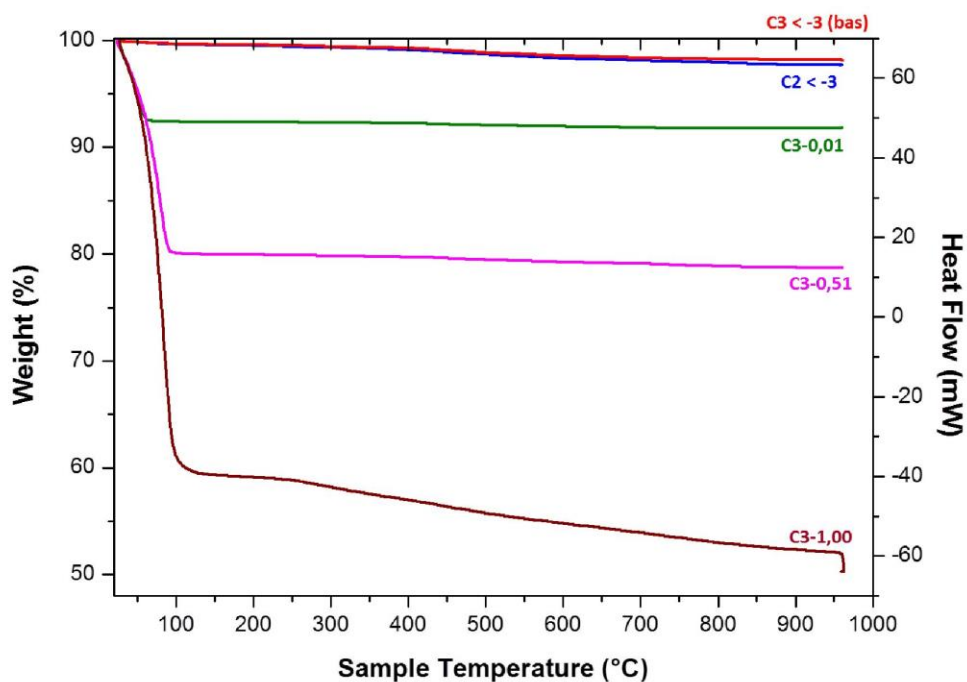
En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

<b>DRX</b>	Quartz, Muscovite, Chlorite, Goethite
<b>MEB</b>	Aluminium, Silicium, Potassium, Fer majoritairement Traces de Sodium, Chlore, Magnésium, Soufre, Calcium et Titane
<b>ATG</b>	Entre 25 et 200°C, $\Delta m = 40.9\%$ Entre 200 et 950°C, $\Delta m = 8.8\%$

**Comparaisons et discussion.**



**Figure 11.** Comparaison des diagrammes DRX des 5 échantillons.



**Figure 12.** Comparaison ATG des 5 échantillons.

En recoupant les analyses effectuées sur cet échantillon, nous obtenons le tableau récapitulatif suivant :

	DRX	MEB	ATG
<b>C2 &lt; -3</b>	Quartz, Muscovite, Chlorite, Goethite	Base Al, Si, K, Fe Traces de S, Na, Cl	25-200°C, $\Delta m = 0.5\%$ 200-300°C, $\Delta m = 0.3\%$ 300-950°C, $\Delta m = 1.5\%$
<b>C3 &lt; -3 (bas)</b>	Quartz, Chlorite, Pseudobrookite	Base Al, Si, K, Fe Traces de S, Na, Cl, Mg, Ca	25-200°C, $\Delta m = 0.4\%$ 200-950°C, $\Delta m = 1.5\%$
<b>C3-0,01</b>	Quartz, Chlorite, Pseudobrookite	Base Al, Si, K, Fe Traces de S, Na, Cl, Mg, Ca, Ti	25-200°C, $\Delta m = 7.7\%$ 200-950°C, $\Delta m = 0.5\%$
<b>C3-0,51</b>	Quartz, Muscovite, Chlorite, Pseudobrookite	Base Al, Si, K, Fe Traces de S, Na, Cl, Ti	25-200°C, $\Delta m = 20.1\%$ 200-950°C, $\Delta m = 1.2\%$
<b>C3-1,00</b>	Quartz, Muscovite, Chlorite, Goethite	Base Al, Si, K, Fe Traces de S, Na, Cl, Mg, Ca, Ti	25-200°C, $\Delta m = 40.9\%$ 200-950°C, $\Delta m = 8.8\%$

Pour ce qui concerne les observations par MEB, nous serions en présence d'une base majoritairement constitué de Silicium, Potassium, Fer et Aluminium. La présence de Magnésium et de Titane a pu être observée également selon les clichés.

**L'ensemble des données brutes a été transmis aux formats .xrdml et .xlsx**

**Opérateurs :**

F.Le Dret / S.Freslon