



VALORISATION DE LA SPECTROMETRIE INFRAROUGE (IRTF) POUR L'ANALYSE QUALITATIVE DE COMPOSES DES CIMENTS, ARGILES, ET DES MELANGES CIMENT/ARGILE

A. S. BENOSMAN⁽¹⁾, H. TAIBI⁽¹⁾, M. MOULI⁽²⁾, M. BELBACHIR⁽¹⁾

- (1) *Faculté des sciences, Laboratoire de Chimie des Polymères, Université d'Oran Es-Sénia. BP1524 ; El Mnaouer, Oran 31000 ; Algérie*
- (2) *Département de Génie Civil, Ecole National Supérieur de l'Enseignement Technique BP1523 ; El Mnaouer, Oran31000 ; Algérie*

e-mail : benosman.ahmed@caramail.com

Résumé

La spectrométrie infrarouge, couramment employée pour l'analyse des composés organiques, reste encore très peu utilisée dans le domaine de la caractérisation des produits minéraux et, ce, malgré les progrès techniques qui ont permis d'améliorer considérablement la qualité des spectres infrarouges; notamment l'utilisation de la transformée de Fourier pour le traitement du signal. L'article montre que la technique (IRTF) peut s'avérer intéressante pour caractériser les ciments, notamment dans le cas d'expertises, les argiles, et les mélanges ciment/argile. Cependant, quelques difficultés subsistent pour l'identification de certains composants. Cet article se présente comme un travail préliminaire pour d'autres études ultérieures, telle l'utilisation d'argile (montmorillonite,...) comme catalyseur incorporé dans le mélange ciment, monomère, eau et agrégats pour une éventuelle polymérisation in-situ pendant le durcissement du mortier ou du béton.

L'article montre aussi que l'analyse par IRTF répond aux exigences d'un diagnostic rapide et pertinent. Cet outil est employé dans le but de comparer entre les différents constituants de ciment CPJ-CEM II/A de deux sites différents notés C1 et C2 et des argiles d'appartenance à la famille des montmorillonites. Pour les autres combinaisons des matériaux, une grande complexité a été observée dans la structure des minéraux.

Mots-clés : IRTF, bande, ciment, montmorillonite, mortier.

Abstract

Infrared spectrometry, which is frequently applied to analyse organic compounds, is still very little used for the characterization of mineral products, in spite of technical advances that have considerably improved the quality of infrared spectra, in particular the use of the Fourier transform in signal processing. This paper shows that infrared Fourier transform spectrometry can be a valuable technique for characterizing cement, in particular in the context of structural surveys; clays, and the cement/clay mixtures; however, the identification of some constituents remains problematic. This article is presented in the form of a preliminary work for other later studies, the such use of clay (montmorillonite...) like catalyst incorporated in the cement mixture, monomer, water and aggregates for a possible polymerization insitu during the hardening of the mortar or the concrete.

The paper shows also, that IRTF analysis constitutes a valuable analytical tool providing rapid and accurate diagnostic. This tool is used with an aim of comparing between the various cement components CPJ-CEM II/A, (C1 and C2), of two different sites, and the membership of our clays to the family of montmorillonites. For the other combinations of materials, a great complexity was observed in the minerals structure.

Key words: IRTF, band, cement, montmorillonite, mortar.

1. INTRODUCTION

La technique de spectroscopie IR est souvent utilisée comme outil de base pour la caractérisation physico-chimique des matériaux organiques.

La reconstitution de la nature chimique d'un produit, est donnée grâce à cette technique qui repose sur l'identification des bandes d'absorption présentes sur chaque spectre; chacune d'entre elle correspond à un mode de vibration d'une liaison chimique entre deux atomes, et si une liaison chimique est caractéristique d'un constituant, elle peut être considérée comme un traceur de celui-ci. Les interprétations des spectres obtenus, nécessitent essentiellement des appuis sur des bibliothèques de spectres qui sont particulièrement bien fournies et actualisées dans le domaine des produits organiques. Mais dès qu'il s'agit d'élucider la structure d'une espèce minérale, nous avons peu de spectres de référence à notre disposition. C'est pour cela, que d'autres techniques (analyse thermique, diffractométrie des rayons X, etc.) viennent en aide pour donner davantage d'informations. Des études réalisées dans ce sens [1-6], ont porté sur le thème de l'analyse des ciments et de leurs composés par la spectrométrie infrarouge, mais les résultats obtenus à cette époque (mauvaise qualité des spectres, sensibilité et résolution médiocres, etc.); ont rapidement limité son intérêt et son développement à d'autres matériaux minéraux. Depuis lors, et avec les progrès techniques réalisés progressivement, notamment l'utilisation de la transformée de Fourier dans la conception du détecteur, l'IRTF reste peu appliqué à la caractérisation de certains produits minéraux. Néanmoins, quelques études portant sur les identifications des minéraux [7-10] et l'étude de leur structure [11,12] ont été menées. Certains travaux de recherche décrivent l'utilisation de l'IRTF en mode transmission (mode traditionnel de l'analyse infrarouge) appliquée à l'analyse des ciments [10,12] et seul un travail assez complet, réalisé en mode réflexion diffuse dans le moyen infrarouge a pu analyser qualitativement et quantitativement les ciments [13]. Actuellement, l'analyse par IRTF semble être utilisée pour suivre le comportement des ciments dans des conditions particulières [14-17]. Le ciment (C1, C2) est un mélange de plusieurs phases [18-21] dont l'alite C_3S ($C=CaO$), ($S=SiO_2$) pour 50 à 75%, de la bélite

C_2S de 10 à 20%, de l'aluminate C_3A ($A=Al_2O_3$) de 5 à 10% et de la ferrite C_4AF ($F=Fe_2O_3$) pour moins de 10%. Les argiles [22-24] considérées, contiennent des minéraux argileux qui se présentent comme des phyllosilicates d'aluminium dont les feuillets sont constitués de couches d'octaèdres $Al(OH)_6$ et de couches de tétraèdres SiO_4 reliées par les atomes O et OH mis en commun, la distance inter-réticulaire (d) sépare 2 feuillets successifs. Le principal minéral argileux qui nous intéresse est la montmorillonite, sa formule théorique [25,26] est souvent donnée sous la forme: Al_2O_3 , $4SiO_2$, nH_2O , elle est généralement calcique et plus rarement sodique.

Dans ce travail, nous avons cherché d'actualiser et de compléter les études déjà réalisées sur l'analyse par IRTF; pour la caractérisation des matériaux minéraux couramment utilisés dans le génie civil [27], et par suite, l'interprétation des spectres IRTF a permis de classer nos deux argiles et d'identifier les différents composants de ces deux ciments de type CPJ-CEM II/A, et d'obtenir particulièrement un diagnostic rapide et pertinent lors de la comparaison entre leurs constituants respectifs. En se basant sur les spectres IRTF précédents, nous avons pu identifier les différentes bandes d'absorption de liaison chimique et caractéristiques des constituants des échantillons obtenus à partir du mélange (ciment/argile).

2. PROCEDURE EXPERIMENTALE

Les échantillons sont analysés par un spectromètre infrarouge à transformé de Fourier (IRTF) de type «Genesis (II)». Les deux ciments C1 et C2 et les deux types d'argile terre décolorante (maghnite) (noté A) et la bentonite (noté B) sont broyés à une granulométrie de $315\mu m$. Les poudres anhydres ainsi obtenues, sont analysées sur pastille KBr à une concentration de 1%. Les combinaisons de matériaux (ciment / argile) sont dans un rapport de mélange de l'ordre de (1:1). Les spectres IRTF ont été obtenus par l'exécution rapide de la technique et du prélèvement en quelques minutes du matériau. La composition chimique des deux ciments et des types d'argiles est regroupée dans les tableaux ci-dessous :

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	SO ₃	AS	PAF
% (w/w)	69,3	14,67	1,16	0,30	1,07	0,5	0,79	0,16	0,91	0,05	11

Tableau 1 : Composition chimique de la terre décolorante (Maghnite) (A)

Eléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	PAF
% (w/w)	50,46	18,57	2,39	3,58	2,31	1,30	1,50	0,21	0,20	0,22	19,26

Tableau 2 : Composition chimique de la Bentonite (B)

Principaux Types	Notation des produits (types de ciment courant)		Composition (pourcentage en masse) ^{c)}								Constituants secondaires ^{b)}
			Constituants principaux								
			Clinker K	Laitier de haut fourneau S	Fumée de silice D ^{a)}	Pouzzolanes Naturelles Z	Cendres volantes		Schiste calciné T	Calcaire L	
Siliceuse V	Calciqie W										
CEM I	Ciment Portland	CPA - CEM I	95 - 100	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Ciment Portland à la pouzzolane	CPJ - CEMII/A	80 - 94	-	-	6-20	-	-	-	-	0-5
<p>a) . La proportion de fumées de silice est limitée à 10 %.</p> <p>b) . Les constituants secondaires peuvent être du filler ou bien un ou plus des constituants principaux, sauf lorsque ceux-ci sont incorporés en tant que constituants principaux du ciment.</p> <p>c) . Les valeurs indiquées se réfèrent à la somme des constituants principaux et secondaires.</p>											

Tableau 3 : Types de ciment (utilisé) et composition.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1. Interprétation des spectres IRTF des ciments anhydres

L'interprétation du spectre IRTF du ciment C1 (Figure.1), permet d'obtenir les informations suivantes :

i) Détection du clinker : une large bande d'absorption vers 923 cm⁻¹ (ν Si-O), accompagnée d'une bande vers 521 cm⁻¹ (δ Si-O-Si), qui correspondent respectivement aux modes de vibrations de valence et de déformation de la liaison Si-O des phases siliceuses C₂S et C₃S, ainsi que des harmoniques vers 2930 cm⁻¹ , 2850 cm⁻¹

significatives de la présence du clinker. De plus, la forte intensité de la bande vers 923 cm⁻¹ révèle un taux bien défini de clinker.

Nous pouvons lire un épaulement vers 875 cm⁻¹, accompagné d'une bande variable vers 1457,10 cm⁻¹ caractéristique des modes de vibrations d'élongation des liaisons C-O. Ces bandes d'absorption sont révélatrices de la présence de carbonate de calcium (CaCO₃), qui est certainement due à une légère carbonatation du clinker.

Par contre, les phases aluminates n'apparaissent pas sur les spectres infrarouges. En effet, comme les phases silicates représentent 80% du clinker et les phases

aluminates seulement 20%, la bande d'absorption de la liaison Si-O des silicates se détache nettement. De plus, cette bande d'absorption, large et intense, tend à masquer l'absorption de toutes les autres liaisons interatomiques.

ii) Détection du gypse (CaSO_4) : un examen de ce spectre met en évidence d'une part, deux doublets à 1140 cm^{-1} - 1126 cm^{-1} et 660 cm^{-1} - 603 cm^{-1} qui correspondent aux élongations de la liaison S-O des sulfates (SO_4^{2-}), caractéristiques de la présence du gypse. Et d'autre part, les bandes caractéristiques de l'eau constitutive qui apparaissent au-dessus de 3000 cm^{-1} (vers 3420 cm^{-1} ν O-H) et d'une bande (doublet) vers $1624,90 \text{ cm}^{-1}$ (δ O-H) qui correspondent à des modes de vibrations d'élongation et de déformation de la liaison O-H.

iii) Détection du pouzzolane : du fait que la pouzzolane est présente en faible quantité dans le ciment analysé et qu'elle est caractérisée par la vibration de la liaison Si-O de la silice à 1030 cm^{-1} (large et intense), ce constituant est totalement masqué par le clinker ; Dans ce cas, nous pouvons affirmer que pour les ciments de type CPA-CEM I et CPJ-CEM II, où le clinker est majoritaire (de 65 à 100%), qu'il est impossible de mettre en évidence la présence de pouzzolane par IRTF [27]. À l'inverse, dans le cas des ciments de haut-fourneau et des ciments pouzzolaniques où les proportions sont inversées, la détection du clinker peut devenir difficile.

L'interprétation du spectre IRTF du ciment C2 [figure (2)], révèle les résultats suivantes :

i) Détection du clinker : une bande d'absorption vers 923 cm^{-1} (ν Si-O), accompagnée d'une bande vers 520 cm^{-1} (δ Si-O-Si), qui correspondent respectivement aux modes de vibrations de valence et de déformation de la liaison Si-O des phases siliceuses C_2S et C_3S , ainsi que des harmoniques vers 2930 cm^{-1} , 2853 cm^{-1} significatives de la présence du clinker. Nous pouvons voir une bande vers 875 cm^{-1} , accompagné d'une autre variable vers 1440 cm^{-1} caractéristiques des modes de vibrations d'élongation des liaisons C-O, qui signifient la présence du carbonate de calcium (CaCO_3), qui est certainement due à une légère carbonatation du clinker.

ii) Détection du gypse (CaSO_4) : on a d'une part, deux doublets à 1144 cm^{-1} - 1116 cm^{-1} et 660 cm^{-1} - 600 cm^{-1} qui correspondent aux élongations de la liaison S-O du sulfate de calcium (CaSO_4), caractéristiques de la présence du gypse. Et d'autre part, les bandes caractéristiques de l'eau constitutive qui apparaissent au-dessus de 3000 cm^{-1} et d'une bande (doublet) vers 1637 cm^{-1} correspondant à des modes de vibrations d'élongation de la liaison O-H.

iii) Détection de pouzzolane : le ciment C2, analysé par IRTF (Figure.2) est un ciment du type CPJ-CEM II. Si nous comparons son spectre avec celui du spectre du ciment C1, nous pouvons constater la présence d'une bande vers 1006 cm^{-1} et d'une autre d'intensité moyenne à 470 cm^{-1} caractéristiques de la vibration d'élongation de Si-O de la silice, d'où une présence de pouzzolane. Ce qui signifie que C2 contient une proportion considérable de pouzzolane par rapport à C1, dont son spectre (Figure.1) présente une bande d'absorption large et très intense vers 923 cm^{-1} .

3.2. Interprétation des spectres IRTF des argiles

Les spectres IRTF de la maghnite (A)[28] et la bentonite (B) représentées par les figures (3) et (4) respectivement, sont en bon accord avec les données de la littérature des matériaux argileux [29]. En comparant les bandes observées des deux argiles considérées avec celles prévues par S. CAILLERS et Coll. [30] pour une montmorillonite du Wyoming, on confirme que le principal composé dominant de nos argiles est la montmorillonite.

On observe d'après les spectres (3) et (4), les vibrations caractéristiques des groupes hydroxyles vers $3622 - 3624 \text{ cm}^{-1}$: bande d'absorption représentant les vibrations de valence OH des Al octaédriques [31].

- À $3624 - 3411 \text{ cm}^{-1}$: ces deux bandes peuvent être dues à l'existence de deux environnements tétraédriques adjacents à l'hydroxyle c'est à dire que les deux ν_{OH} observés correspondent à deux types de tétraèdres [31] : OH lié à [Al Al] et adjacent à 1 SiO_4 , AlO_4 et OH lié à [Al Al] et adjacent à 2 SiO_4 .

S. CAILLERS et Coll. [30] attribuent ces deux pics à l'existence de la montmorillonite dans les argiles considérées. Certains auteurs rapportent [32] qu'une bande large avec un épaulement à 3600 cm^{-1} caractérise la

montmorillonite. En général les minéraux 2/1 sont caractérisés par deux bandes principales dont l'un est à 3620 cm^{-1} . Elles sont attribuées à des OH liés à 2 Al [33].

- Vers 1638 cm^{-1} : une bande d'absorption de l'eau interfoliaire

- $1040 - 1042\text{ cm}^{-1}$: bande de valence de vibration de Si-O

- 1100 cm^{-1} : bande caractérisant la montmorillonite. Des travaux antérieurs [32,34] attribuent à la montmorillonite les bandes centrées à 1100 cm^{-1} . Selon ces auteurs elle peut être déplacée vers de basses fréquences, déplacement dû à la présence de quantité notable en site tétraédrique d'ions Al^{3+} substitués au Si et d'ions Fe^{3+} substitués en position octaédrique. Dans notre cas, la bande 1100 cm^{-1} est déplacée vers $1040 - 1042\text{ cm}^{-1}$.

- L'ensemble des pics entre 630 et 916 cm^{-1} correspond à des vibrations de déformation $\text{M}^{\text{VI}}-\text{OH}$, M pouvant être Mg, Al ou Fe [32,35].

- Les bandes près de 523 cm^{-1} et 466 cm^{-1} sont attribuées aux vibrations de déformation de Si-O des smectites.

Une légère différence est constatée par la comparaison entre les spectres de la figure (3) et de la figure (4) en se basant sur les intensités des bandes d'absorption : on peut constater que la bande vers 1042 cm^{-1} du spectre (3) est large par rapport à la bande de l'argile (B) vers 1040 cm^{-1} (figure.4), elle reflète le changement de la quantité et la composition des éléments constitutifs d'argiles.

3.3. Interprétation des spectres IRTF des mélanges (ciment/argile)

Les spectres IRTF, montrés par les figures (5), (6), (7), et (8) des mélanges (ciment/ argile), nous révèle la présence en plus des composants des ciments anhydres tels clinker (C_2S , C_3S), carbonate de calcium CaCO_3 , gypse,... et la présence de la montmorillonite qui domine la composition minéralogique de nos argiles. Ainsi, la grande complexité de la composition et de la structure des minéraux présentés, témoignent de la difficulté rencontrée pour l'identification des différentes composants des mélanges (ciment / argile).

En se basant sur les discussions rapportées aux paragraphes 3.1 et 3.2, une étude comparative entre les différents spectres IR des mélanges (ciment/argile) (figures.5, 6, 7

et 8) et les spectres des figures (1), (2), (3), et (4); a permis de constater que les bandes d'absorption du composé montmorillonite sont présentes. Tels la présence de la bande large avec un épaulement [32] vers 3600 cm^{-1} qui caractérise la montmorillonite, car en général les minéraux 2/1 sont caractérisés par deux bandes principales dont l'un est vers 3624 cm^{-1} , elles sont attribuées au groupe hydroxyles de l'anion silicate et des cations octaédriques [29,36].

La bande la plus intense vers 1040 cm^{-1} qui caractérise la montmorillonite, est attribuée aux vibrations d'élongation de Si-O (paragraphe.3.2) et les bandes près de 522 et 466 cm^{-1} sont assignées aux vibrations de déformation de Si-O.

Nous pouvons lire un épaulement vers 923 cm^{-1} accompagné de la bande vers 521 cm^{-1} qui correspondent respectivement aux modes de vibrations de valence et de déformation de la liaison Si-O des phases silicieuses C_2S et C_3S significatives de la présence du clinker (paragraphe.3.1). De plus la bande d'absorption large et intense vers 1040 cm^{-1} (figures.5, 6, 7, et 8.), tend à masquer l'absorption de toutes les autres liaisons interatomiques des constituants des ciments C1 et C2 (figures1. et 2.). La bande caractéristique des modes de vibrations d'élongation des liaisons C-O, qui révèle la présence de carbonate de calcium (CaCO_3) due certainement à une légère carbonatation du clinker, peut être déplacée vers les basses fréquences près de $1420 - 1429\text{ cm}^{-1}$.

Nous pouvons constater, d'après les différents spectres (voir figures 5. 6. 7. 8.), la présence de la bande de $1636 - 1640\text{ cm}^{-1}$, elle représente les bandes caractéristiques de l'eau constitutive (détection du gypse, voir paragraphe.3.1) et interfoliaire (argile, voir paragraphe. 3.2) correspondant à des modes de vibrations de déformation de la liaison O-H; ainsi la bande observée près de 3415 cm^{-1} est attribuée au mode de vibrations d'élongation de la liaison O-H (cas du gypse).

Un changement de l'intensité des bandes d'absorption dans les divers spectres IRTF des mélanges (ciment/argile), reflète la quantité variable et la composition des éléments constitutifs d'argiles ou des ciments.

4. Conclusion

Les principales conclusions de la présente étude sont les suivantes :

- La spectrométrie infrarouge reste une technique d'analyse qualitative de caractérisation des matériaux minéraux.
- Elle permet d'obtenir rapidement de nombreuses informations sur la composition des ciments, d'argiles ou des mélanges ciment/argile.
- Les difficultés d'interprétation des différentes bandes d'absorption ont pu être affranchies grâce à la consultation d'une banque de spectres spécifiques aux matériaux couramment utilisés dans ce domaine.
- Même si le champ d'action de l'analyse IRTF s'avère parfois limité, les applications de notre étude ont montré combien cet outil d'analyse peut être intéressant pour la caractérisation physico-chimique des matériaux minéraux, et pour l'obtention d'une multitude d'informations intéressantes quand il s'agit soit de vérifier par comparaison la composition des deux matériaux C1 et C2, soit de connaître que la montmorillonite domine la composition minéralogique de nos argiles.
- Les spectres infrarouges réalisés des mélanges (ciment/argile) ne se distinguent que par l'apparition de raies caractéristiques de la montmorillonite; ce qui s'avère intéressant pour des études ultérieures.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier A. AIT AMER pour leur aide à la mise en forme de cet article.

REFERENCES

[1]- A. Baron, "Application de spectrométrie infrarouge à l'étude des ciments", *Bulletin de la société française de céramique*, **L 32/D 533**, pp. 73-83.

[2]- P. Fierens, A. Verhaegen, J.-P. Verhaegen, (1974), Étude de la formation de l'hydrocarboaluminate de calcium, *Cement and concret research.*, **4**, pp. 695-707.

[3]- D. M. Roy, (1958), *J. Amer. ceram. Soc.*, **41**, pp. 479-491.

[4]- D. M. Roy, (1958), *J. Amer. Ceram. Soc.*, **41**, pp. 293-299.

[5]- H. G. Midgkley, (1964), *The chemistry of cement*, ed. H.F.W. Taylor. Academic Press, **1**, pp. 117, 118 et 122.

[6]- P. Tarte, (1966), *Silicates Industriels*, pp. 425-438.

[7]- J. Bensted, (1988), Thaumasite – a deterioration product of hardened cement stuctures, *Cemento*, **85 (1)**, pp. 3-10.

[8]- S.N. Ghosh, S.K Handoo, (1980), Infrared and raman spectral studies in cement and concrete (review), *Cement and concret research*, **10**, pp. 771-782.

[9]- S.K. Handoo, S.N. Ghosh, (1992), *Progress in Cement and Concret.*, **1**, pp. 222-252.

[10]- J. Bensted, (1990), Carcterisation of sulfate wavebands in the infrared spectra of cement minerals, *Cemento*, **87**, pp. 137-146.

[11]- G.M.M. Bell, J. Bensted, F.P. Glasser, E. E. Lachowki, D.R. Roberts, S.A. Rodgers, (1993), *Industrimental investigations of hydratation of classJ oilwell cement*, *Advances in cement research*, **5**, n° 18,71-79.

[12]- O. Henning, (1974), *An Infrared spectra of minerals*, Farmer, V. C, Ed., Mineralogical Society, London.

[13]- T.L. Hughes, C.M. Methuen, T.G.J Jones, S.E. Pelhman, P. Flecher, C. Hall, (1995), *Determing cement composition by fourier transform infrared spectroscopy*, Ed. Elsevier science Inc., **2**, pp. 91-104.

[14]- D.K. Dutta, D. Bordolio, P. Borthakur, (1995), Hydratation of portland cement clinker in the presence of carbonaceous materials, *Cement and concrete research*, **25**, Issue 5, pp. 1095-1102.

[15]- Martinez – S. Ramirez, (1999), Influence of SO₂ deposition on cement mortar hydratation, *Cement and concete research.*, **29**, Issue 1, pp, 107-111.

[16]- X.F. Gao, Y. Lo, C.M. Tam, C.Y. Chunng, (1999), Analysis of the infrared spectrum and microstructure of hardened cement paste, *Cement and concrete Research.*, **29**, Issue 6, pp. 805-812.

[17]- M.Y.A Mollah, W. Wenhong, R. Schennach, D.L. Cocke, (2000), A Fourier transform infrared spectroscopic investigation of the early hydratation of Portland cement and the influence of sodium lignosulfonate , *Cement and concrete Research.*, **30**, Issue 2, pp.267-273.

[18]- G.C. Bye, (1983), *Portland Cement Composition, Production and Properties*, Blue circle Industries. UK.

[19]- M. Papadkis, M. Venuant, (1970), *Industrie de la chaux du ciment et du plâtre*, DUNOD, Paris.

[20]- A..M. Neville, (1972), *Properties of concrete*, Pitman Press, Bath.

VALORISATION DE LA SPECTROMETRIE INFRAROUGE (IRTF) POUR

- [21]- D. P. Bentz and E.J. Garboczi, (1991) *cement conc.*, Res. **21**, 325.
- [22]- R. Morel, (1996), *Les sols cultivés*, Lavoisier, Paris.
- [23]- J. Mering, (1975), "Smectites" in "Encyclopedia of soil science", 97-119. Ed. Spinger-Verlag, New York, Inc.
- [24]- M.E. Tucker, (1981), *Sedimentary petrology. An Introduction*. Blackwell.
- [25]- S. Caillers, S. Henin, M. Rautureau, (1982), *Minéralogie des argiles : classification et nomenclature*, T2, Edition Masson et INRA. Paris, p. 189.
- [26]- G. Alberti, T. Bein, (1996), in *Solid-State Supramolecular chemistry: Two-and Three-Dimensional Inorganic Network*, edited by G. Alberti, T. Bein, (vol. 7 of *Comprehensive Supramolecular chemistry*, Pergamon, Elsevier Science Ltd. UK, chap.4)
- [27]- F. Fargas, Ph. Touzé, (2001), La spectrométrie IRTF, une méthode intéressante pour la caractérisation des ciments. *Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées.*, **230**-réf. 4350, pp.77-88.
- [28]- M. Belbachir, *U.S Patent*. 066969.0101-2001.
- [29]- V.C. Farmer, (1974), In *Infrared Spectra of Minerals*, V.C. Farmer, Ed.; Mineralogical Society: London, p.331.
- [30]- S. Caillers, S. Henin, M. Rautureau, (1982), *Minéralogie des argiles : structure et propriétés physico-chimiques*, T1, Edition Masson et INRA, Paris, p.184.
- [31]- S. Petit, J.L. Robert, A. Decarreau, G. Besson, O. Graudy, F. Martin, (1995), Apport des méthodes spectroscopiques à la caractérisation des phyllosilicates 2/1, *Bull. Centre Rech. Expl. Prod. Elf Aquitaine*, **19** (1) pp. 119-147.
- [32]- A. Bendjama, (1981), *Etude de la bentonite algérienne; application à la décoloration des huiles*. *Thèse de Magister*, E.N.P Alger.
- [33]- M. Boutahala, (1992), *Etude physico-chimique d'une montmorillonite échangée : application à la conduction ionique*. *Thèse de Magister*, Université de Sétif.
- [34]- F. Moukhtari, (1991), *Synthèse et caractérisation d'argiles pontées à l'aluminium et au titane*. *Thèse de Magister*, Université d'Oran.
- [35]- Z. Bendjma- Boulahcene, (1982), *Sorption du mercure par des bentonites algériennes activées*. *Thèse de Magister*, E.N.P Alger.
- [36]- A. Harrane, R. Meghabar, M. Belbachir, (2002), A proton exchanged Montmorillonite clay as an efficient catalyst for the reaction of Isobutylene polymerization. *Int. J. Mol. Sic.* **3**, pp.790-800.

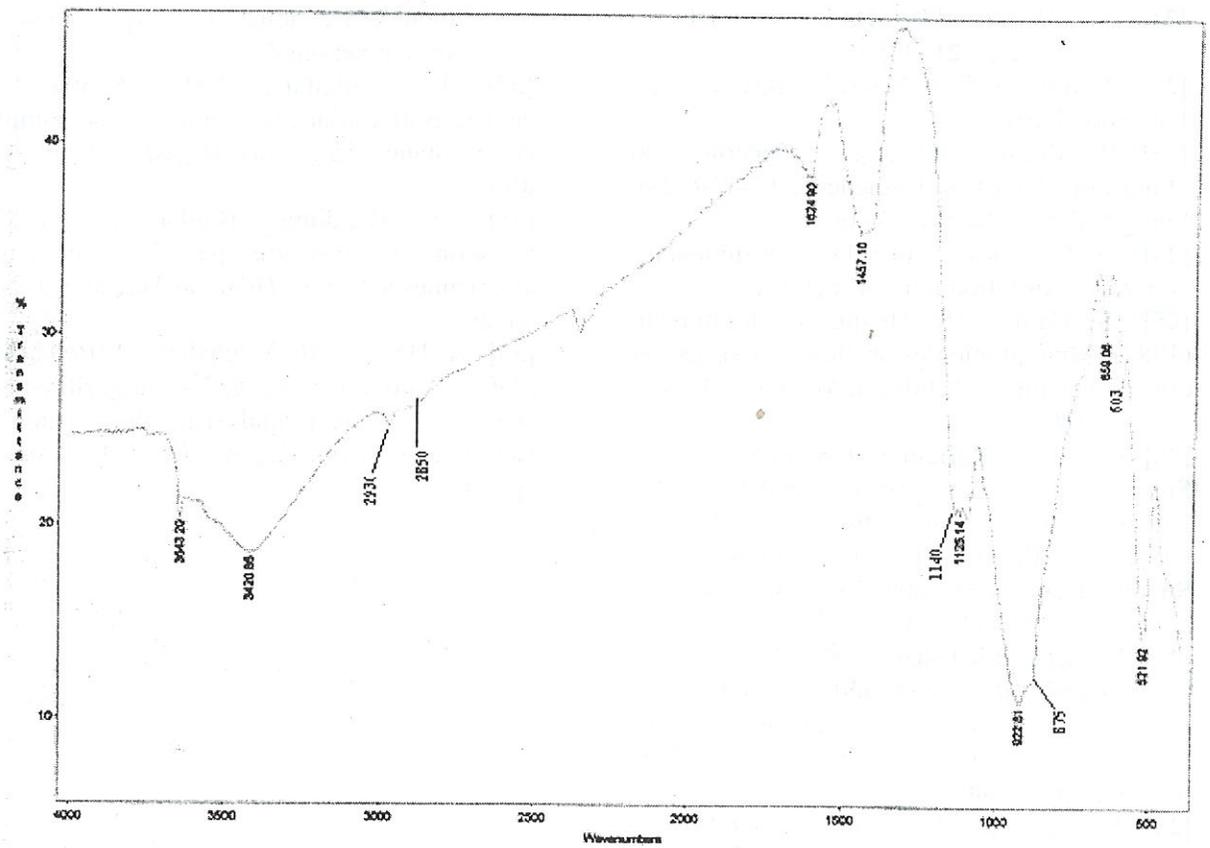


Figure 1 : Spectre IRTF du ciment C1 (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

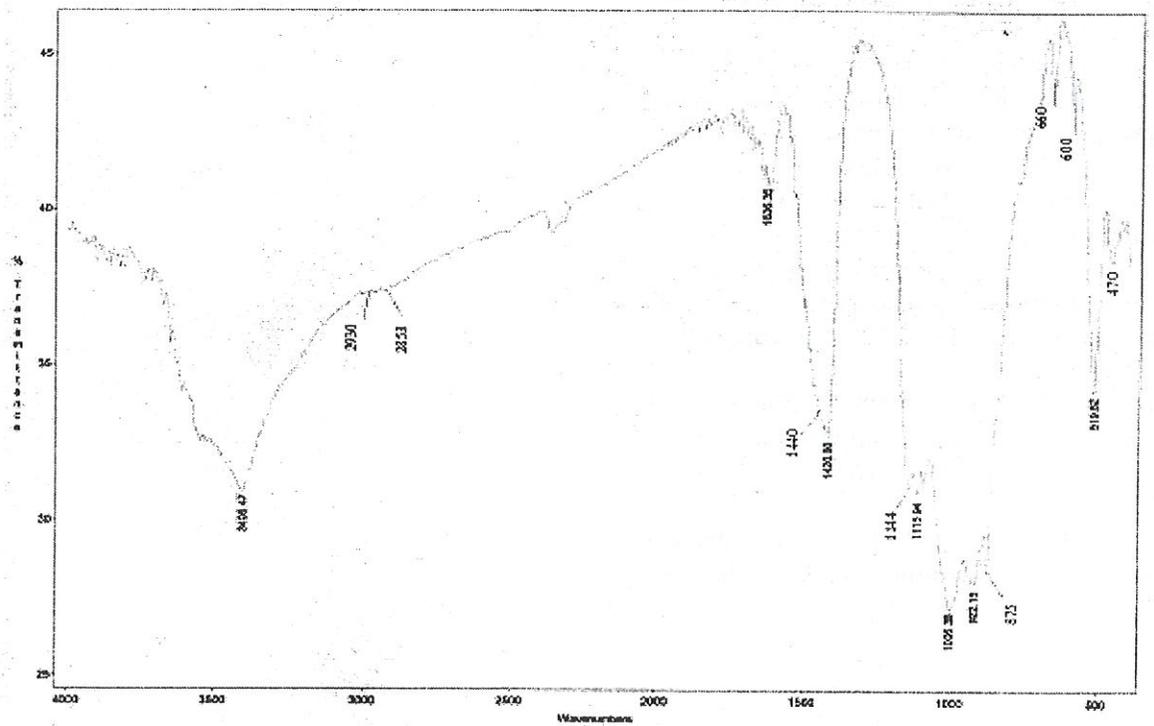


Figure 2 : Spectre IRTF du ciment C2 (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

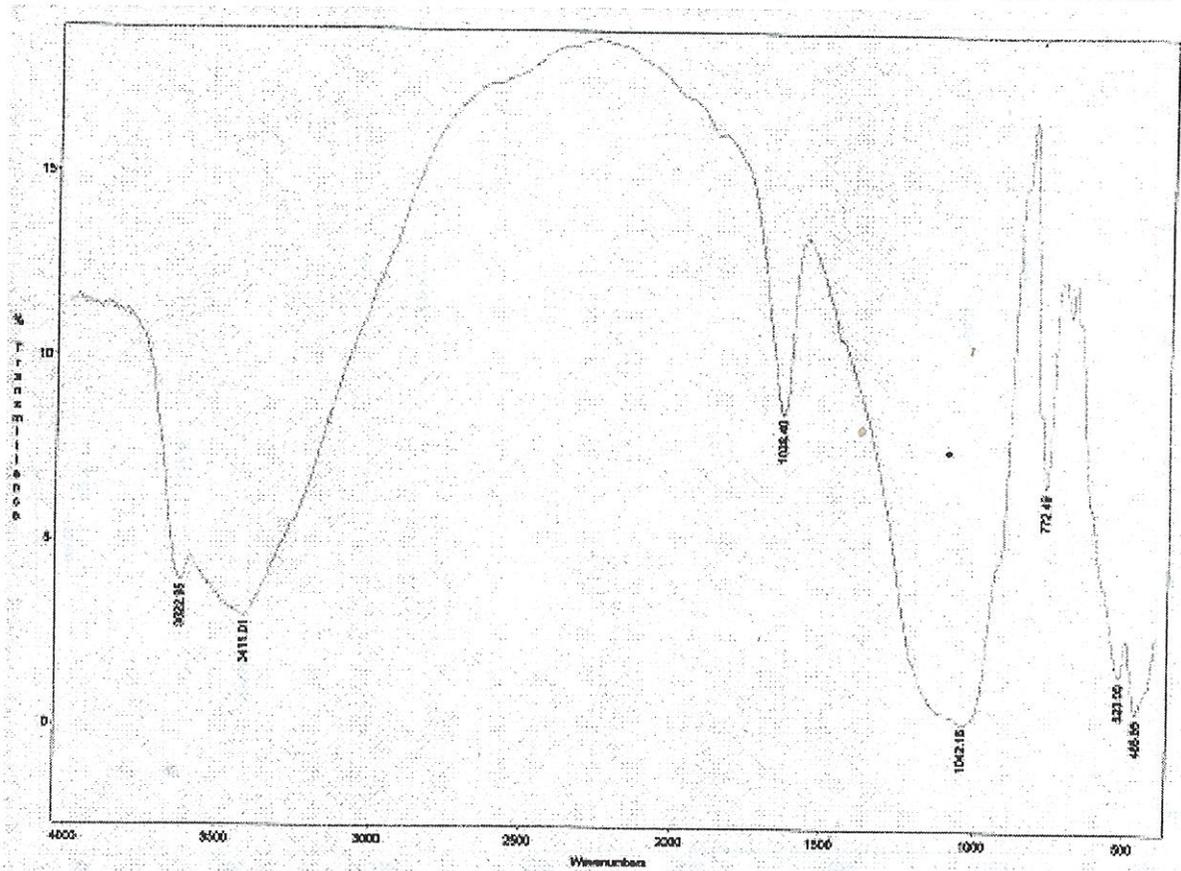


Figure 3 : Spectre IRTF de l'argile (A) (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

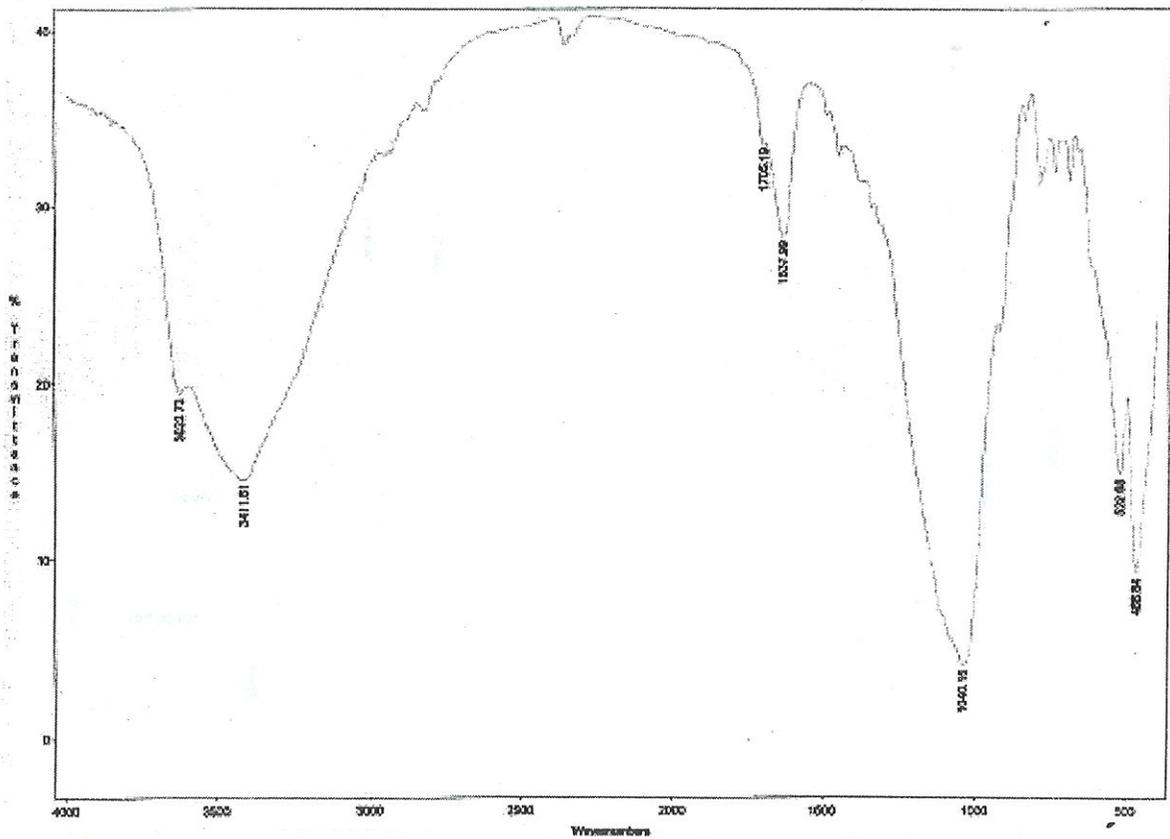


Figure 4 : Spectre IRTF de l'argile (B) (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

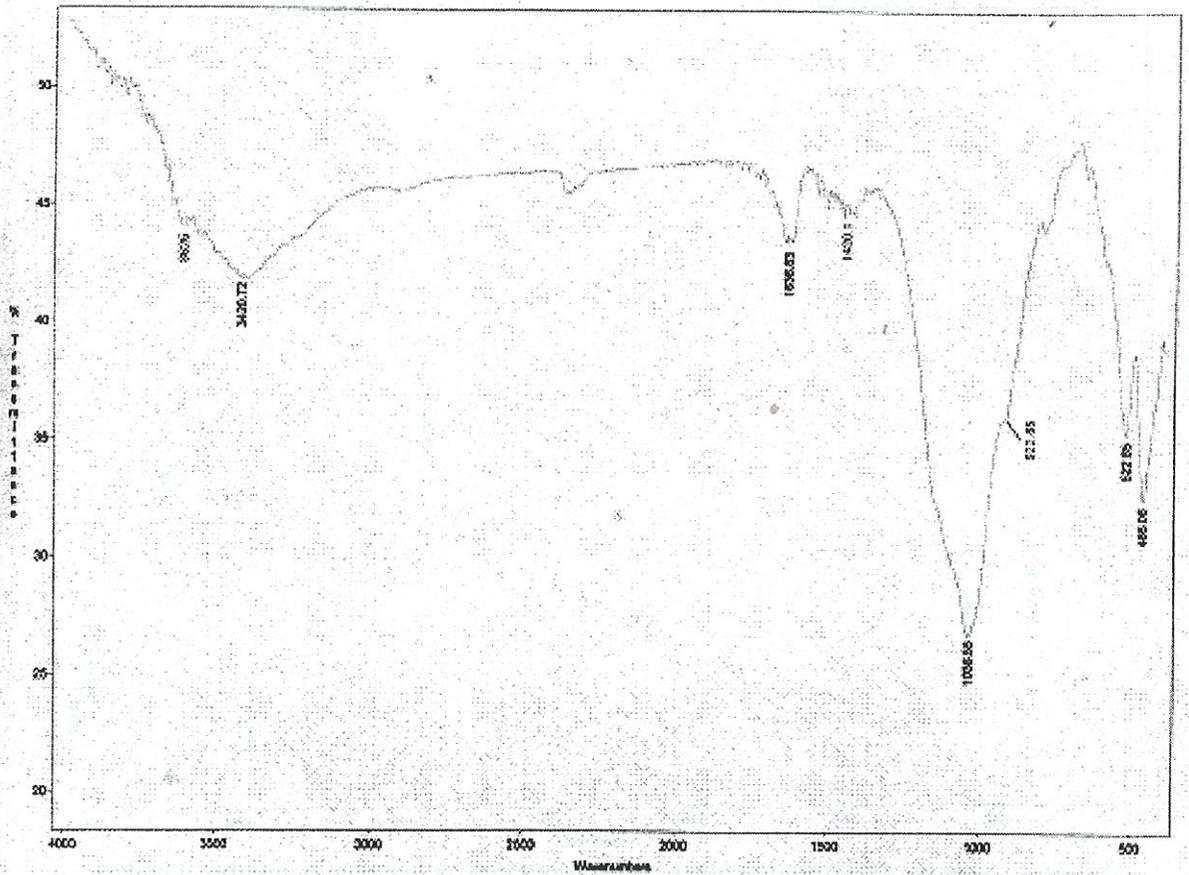


Figure 5 : Spectre IRTF du mélange (C1 +B) (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

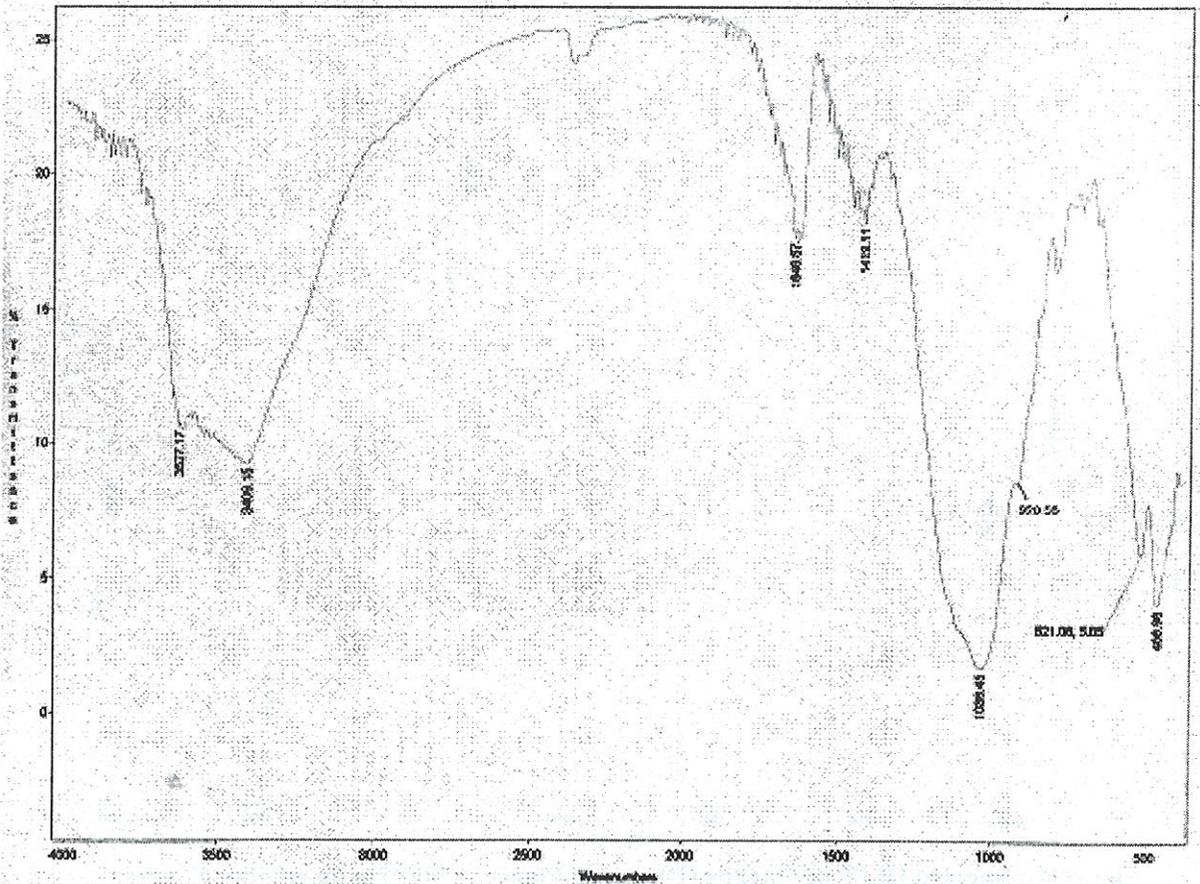


Figure 6 : Spectre IRTF du mélange (C2 +B) (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

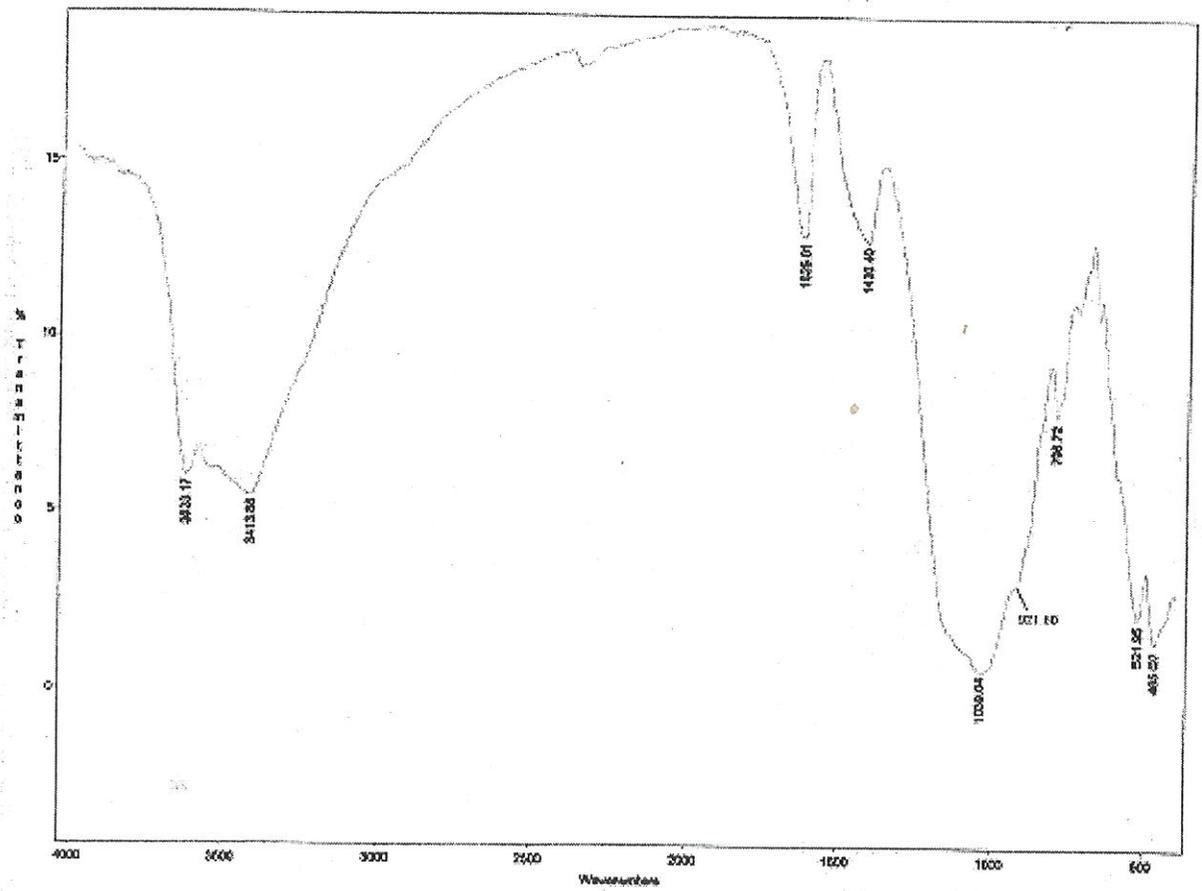


Figure 7 : Spectre IRTF du mélange (C1+A) (transmittance en fonction du nombre d'ondes)

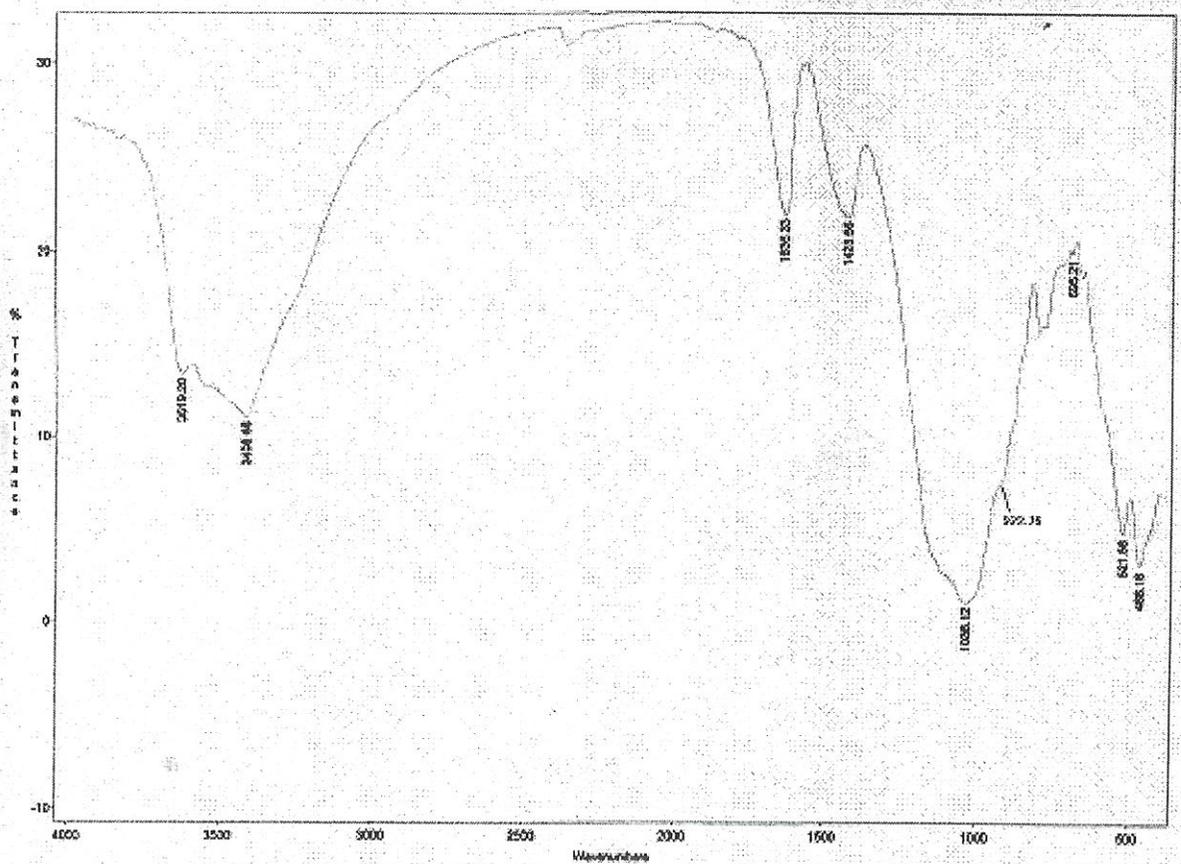


Figure 8: Spectre IRTF du mélange (C2 +A) (transmittance en fonction du nombre d'ondes)