

## PROJET DE FILIERE CERAMIQUE A LA REUNION

### Essais de fabrication de produits de terre cuite à partir de matériaux de La Réunion et de Madagascar

**BRGM/RP-52969-FR**  
**mars 2004**

Étude réalisée dans le cadre du projet  
de Service public du BRGM 03RESB07

**P. Le Berre, H. Haas, L. Arnaud, J.P. Rançon (BRGM)**

**C. Poirier, L. Andriamitantsoa (CTTB)**



**Mots clés :** altérites, argiles, briques, carreaux, feldspath, Ile de La Réunion, Madagascar pouzzolanes, produits de terre cuite, sables siliceux, scories volcaniques, tufs volcaniques, tuiles.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :  
Le Berre P., Haas H., Arnaud L., Rançon J.-P., Poirier C., Andriamitantoa L. (2004) :  
Projet de filière céramique à La Réunion – Essais de fabrication de produits de terre  
cuite à partir de matériaux de La Réunion et de Madagascar.  
BRGM/RP-52969- FR, 36 p, 7 tab., 3 ann.

## Synthèse

La présente étude, cofinancée par la Région, le Département et le brgm, a pour objectif de s'assurer qu'il est techniquement possible de créer une unité de fabrication de terre cuite à La Réunion à partir des matériaux disponibles sur l'île, complétés, si nécessaire, par des matériaux importés, en particulier de Madagascar.

Nous nous sommes volontairement placés dans une perspective industrielle, la seule capable de créer des emplois pérennes en nombre significatif et de proposer de nouveaux matériaux pour la construction des maisons individuelles et autres bâtiments à La Réunion. Ce type de production industrielle impose un procédé de fabrication par extrusion, que nous avons privilégié au cours des essais réalisés dans cette étude.

De nombreuses études ont déjà été réalisées sur les matériaux argileux de La Réunion, en particulier par le brgm en 2001 (rapport BRGM/RP-50866-FR).

Les résultats de ces études antérieures montrent que deux voies sont envisageables pour fabriquer des produits de terre cuite à l'échelle industrielle :

- prendre comme base l'argile grise de Savannah et y ajouter d'autres argiles de La Réunion ou de Madagascar et des fondants-dégraissants (sable siliceux, tufs volcaniques, feldspath, ...);
- prendre comme base les pouzzolanes en y ajoutant des argiles de La Réunion et de Madagascar.

Afin d'étudier ces deux voies, sept matériaux de La Réunion ont été retenus pour les analyses et tests :

- 3 argiles d'altération de Piton Rouge (Les Avirons), Bassin Martin (St-Pierre), La Caroline (Bras-Panon) ;
- 2 argiles alluviales de Quartier Français ( Ste-Suzanne) et Savannah (St-Paul) ;
- 2 pouzzolanes de La Saline (St-Pierre) et Piton Villers (Le Tampon).

Sept matériaux de Madagascar ont été également sélectionnés dans la zone située entre Antananarivo et Toamasina (Tamatave). Cette région a été retenue car il est possible d'y envisager de transporter ces matériaux par camion jusqu'au port de Toamasina, puis de charger des bateaux à destination de La Réunion. Les matériaux retenus ont été les suivants : 4 argiles, 2 sables siliceux, 1feldspath.

Tous ces matériaux ont fait l'objet d'analyses minéralogiques, chimiques et granulométriques. Ces analyses ont montré, en particulier, que les argiles issues de l'altération des roches volcaniques de La Réunion présentent une composition très éloignée de celle des argiles classiquement utilisées pour la fabrication des produits de terre cuite, en particulier une faible teneur en silice et une teneur très élevée en fer (l'échantillon le plus favorable a été prélevé aux Avirons).

En revanche, l'argile de Savannah présente une composition plus proche de celle des argiles à terre cuite, avec une teneur en silice plus élevée (47 %) et moins de fer (13 %). Elle contient également de la smectite (minéral argileux apportant de la plasticité au mélange) et du diopside (pyroxène calcique et magnésien) favorable à une cuisson rapide des produits.

Parmi les argiles de Madagascar, celles qui présentent les meilleures caractéristiques sont les argiles A2 (Moramanga) et A3 (Antananarivo), argiles déjà utilisées pour la fabrication artisanale ou semi-industrielle de briques.

Les résultats des essais d'extrusion et de cuisson réalisés dans les laboratoires du brgm et du Centre Technique des Tuiles et Briques montrent que **la fabrication industrielle de briques creuses est possible par mélange d'argile de Savannah (80 %) et d'argile de Madagascar A3 ou A2 (20 %).**

Une telle production est aussi envisageable en remplaçant l'argile de Madagascar par de la pouzzolane de La Réunion (20 %), si l'on accepte un aspect plus grossier des tessons (arrachements à l'extrusion).

Si l'argile de Savannah n'était pas exploitable, un mélange à base de tuf de Saint-Pierre (60 %), argiles des Aviron (20 %) et de Madagascar (20 %) pourrait être envisagé avec les inconvénients suivants : extrusion difficile et palier de cuisson étroit.

En revanche, l'obtention de produits à faible porosité (briques apparentes, tuiles, carreaux) selon un processus classique de fabrication utilisant l'extrusion s'avérera très difficile à mettre en oeuvre, si l'on veut que ces produits soient conformes aux spécifications exigées dans le secteur du bâtiment.

Seul, le mélange de 70 % d'argile des Aviron et de 30 % de feldspath de Madagascar a permis d'obtenir des porosités correctes en vue d'une production de carreaux de terre cuite mais avec les inconvénients suivants : cuisson à 1150 °C et très court palier de cuisson.

Compte tenu de ces résultats, et dans la perspective du développement d'une filière de fabrication industrielle de produits de terre cuite à La Réunion, **il apparaît opportun d'envisager, au moins en un premier temps, la création d'une unité de fabrication de briques creuses.** Il sera toujours possible, par la suite, si cette unité s'avère rentable, d'étudier la possibilité de lui adjoindre une unité de fabrication de carreaux ou de tuiles.

Dans cet objectif, il s'avérera indispensable d'examiner rapidement la possibilité d'ouvrir une carrière à Savannah, eu égard aux diverses données environnementales et aux différents enjeux qui s'y trouvent.

Afin de définir l'intérêt économique de l'implantation d'une briqueterie à La Réunion, nous proposons de réaliser dans une seconde étape, une étude de pré faisabilité comprenant une estimation du marché potentiel, une reconnaissance préliminaire du gisement de Savannah, le dimensionnement du projet industriel et l'estimation des coûts de production et de la rentabilité du projet.

## Sommaire

<b>Liste des tableaux .....</b>	<b>7</b>
<b>Liste des annexes .....</b>	<b>7</b>
<b>1. Objet de l'étude .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Rappel des travaux antérieurs .....</b>	<b>9</b>
2.1. Essais du CTTB de 1969 à 1972.....	9
2.2. EtUdeS des FILIERES matériaux du BRGM (1998-2001).....	9
<b>3. Choix des matières premières.....</b>	<b>11</b>
<b>4 .Description des sites d'échantillonnage.....</b>	<b>12</b>
4.1. Matériaux prélevés à La Réunion .....	12
4.1.1. Argile d'altération de Piton Rouge .....	12
4.1.2. Argile d'altération de Bassin Martin .....	12
4.1.3. Argile d'altération de La Caroline .....	13
4.1.4. Argile alluviale de Quartier Français.....	13
4.1.5. Argile alluviale de Savannah.....	14
4.1.6. Tufs pyroclastiques de La Saline .....	14
4.1.7. Projections volcaniques de Piton Villers .....	15
4.2. Matériaux prélevés à Madagascar.....	15
<b>5. Caractérisation physico-chimique des matériaux sélectionnés .....</b>	<b>17</b>
5.1. Composition minéralogique des argiles.....	17
5.1.1. Composition minéralogique des argiles de La Réunion .....	17
5.1.2. Composition minéralogique des argiles de Madagascar.....	18
5.2. Composition chimique.....	20
5.2.1. Composition chimique des matériaux de La Réunion .....	20
5.2.2. Composition chimique des matériaux de Madagascar.....	20
5.3. Composition granulométrique.....	25
<b>6. Résultats des essais de cuisson réalisés au brgm.....</b>	<b>26</b>
6.1 Mode opératoire .....	26
6.2 Rappel des principales caractéristiques exigées pour les produits de terre cuite..	26
6.3. Résultats des essais sur monoproduits argileux .....	27
6.4. Résultats des essais sur mélanges .....	28
6.4.1. Mélanges à 80 % d'argile de Savannah .....	28
6.4.2. Mélanges à 55 % d'argile de Savannah .....	28

6.4.3. Mélanges à 60 % de tuf de Saint-Pierre .....	29
<b>7. Résultats des essais de cuisson réalisés au CTTB.....</b>	<b>32</b>
7.1. Mélange n° 00674-7 : Argiles de Savannah (80 %) et des Aviron (20%) .....	32
7.2. Mélange N° 0674-23 : Argiles de Savannah (80 %) et Madagascar a3 (20%) ....	32
7.3. Mélange N° 0674-24 : Argile des Aviron (70 %) et feldspath de Madagascar A7 (30 %) .....	32
7.4. Mélange N° 0674-25 : Ajout de 20 % de feldspath de Madagascar A7 au mélange 674-7.....	33
7.5. Mélanges N° 0674-26 et 27 : Argiles de Savannah et des aviron + pouzzolanes de Saint-Pierre.....	33
<b>8. Conclusions et perspectives .....</b>	<b>34</b>

## Liste des tableaux

Tabl. 1 - Composition minéralogique des matériaux argileux de La Réunion et de Madagascar (analyses brgm par diffractométrie RX).....	19
Tabl. 2 - Composition chimique des matériaux de La Réunion .....	22
Tabl. 3 - Composition chimique des matériaux de Madagascar .....	23
Tabl. 4 - Caractéristiques des principaux types d'argiles utilisés en France dans la fabrication des produits de terre cuite (document CTTB).....	24
Tabl. 5 - Détermination de la fraction supérieure à 50 microns présente dans les échantillons d'argile de La Réunion et de Madagascar.....	25
Tabl. 6 - Essais de cuisson sur monoproduits argileux réalisés au brgm.....	30
Tabl. 7 - Essais de cuisson sur mélanges réalisés au brgm.....	31

## Liste des annexes

Annexe 1 : Cartes de localisation et photographies des sites d'échantillonnage	
1.1. Localisation des sites d'échantillonnage à La Réunion et à Madagascar	
1.2. Planches photographiques des sites échantillonnés à La Réunion	
Annexe 2 : Analyses minéralogiques et chimiques réalisées par le brgm en 2003	
2.1. Analyses minéralogiques par diffractométrie de rayons X	
2.2. Analyses chimiques	
2.3. Analyses granulométriques	
Annexe 3 : Résultats des essais de cuisson	
3.1. Essais de cuisson réalisés au brgm	
3.2. Essais de cuisson réalisés au CTTB	
3.3. Essais de fabrication de briquettes et tuilettes réalisés au CTTB	

## 1. Objet de l'étude

Une évaluation des ressources en matériaux argileux de La Réunion et des potentialités de valorisation céramique de ces matériaux a été réalisée en 2000-2001 (rapport BRGM/RP-50866-FR).

Cette étude a permis d'établir un bilan de toutes les actions entreprises antérieurement dans ce domaine, d'effectuer un inventaire des principaux gisements de matériaux argileux disponibles sur l'île et d'effectuer des tests préliminaires en laboratoire.

La présente étude, cofinancée par la Région Réunion (convention n° DEAT3 / 20021583), le Département (convention n° DID 03-03) et le brgm sur sa dotation de service public (fiche 03RESB07), se place dans la continuité de l'étude précédemment citée. Elle a pour objectif de préciser s'il est techniquement possible de créer une unité de fabrication de terre cuite à La Réunion à partir des matériaux disponibles sur l'île complétés, si nécessaire, par des matériaux importés, en particulier de Madagascar.

Deux types de production peuvent être envisagés à La Réunion :

- une production artisanale et artistique du type poteries ;
- une production industrielle de briques, tuiles et carreaux.

En revanche, une production artisanale de briques pleines et carreaux, comme à Madagascar, ne paraît pas, *a priori*, envisageable à La Réunion, compte tenu du contexte économique.

Nous nous sommes volontairement placés dans une perspective industrielle, la seule capable de créer des emplois pérennes en nombre significatif et de proposer de nouveaux matériaux pour la construction des maisons individuelles et autres bâtiments à La Réunion.

Ce type de production industrielle impose généralement un procédé de fabrication par extrusion, indispensable pour les briques creuses et tuiles. Une autre technique, le pressage, est parfois aussi utilisée industriellement pour la fabrication de briques pleines de parement mais est surtout réservée au stade artisanal.

Dans les essais de fabrication de produits de terre cuite, nous avons privilégié la technique de production par extrusion.

## 2. Rappel des travaux antérieurs

Une synthèse des études antérieures réalisées sur les matériaux argileux et les possibilités de fabrication de matériaux céramiques à La Réunion a été établie en 2001 par le brgm (Rapport BRGM/RP-50866-FR). Nous en rappellerons les principaux points indispensables à la réalisation de la présente étude.

### 2.1. ESSAIS DU CTTB DE 1969 A 1972

Les premiers essais de fabrication de produits de terre cuite par extrusion ont été réalisés par le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB) situé à Clamart, près de Paris.

Des tests ont tout d'abord été effectués en 1969 à partir d'argiles rouges prélevées dans la région des Avirons. Le CTTB concluait que ces matières premières étaient inaptées à la fabrication de produits de terre cuite.

De nouveaux essais ont ensuite été réalisés en 1971 à partir d'argile rouge de La Montagne (commune de Saint-Denis) et d'argile grise de Savannah (commune de Saint-Paul). Les argiles seules ne conviennent pas mais des résultats jugés intéressants ont été obtenus avec des mélanges 70% argile grise et 30 % argile rouge et avec de l'argile rouge contenant 24 % de chamotte (argile rouge calcinée à 1200 °C et broyée à 0,5 mm).

Le CTTB concluait qu'une composition comportant 70 parties d'argile grise, 30 parties d'argile rouge et 20 à 30 parties de sable permettrait probablement une fabrication de produits de terre cuite de qualité courante.

Suite à ces essais, une étude de faisabilité d'un projet de briqueterie à Saint-Paul, a été réalisée en 1972 par le Centre d'Etudes et de Réalisations Industrielles et Commerciales (CERIC), société spécialisée dans la conception des équipements des usines de terre cuite. Cette étude était basée sur l'ouverture de carrières à Savannah (argile grise), aux Avirons et à La Montagne (argiles rouges). Mais ce projet n'a pas abouti malgré l'avis favorable de l'Administration.

### 2.2. ETUDES DES FILIERES MATERIAUX DU BRGM (1998-2001)

Plusieurs études ont été menées au cours des dernières années par le brgm, dans le cadre de l'étude des filières « Roches et minéraux industriels », accompagnant et prolongeant l'élaboration du Schéma Départemental des Carrières :

- identification des ressources en matériaux argileux à La Réunion (Rocher et Fontaine, 1998) ;
- étude de faisabilité d'une filière céramique à La Réunion (Girel, Hermans, BRGM, Glazrun, 1999-2001) ;
- identification des ressources en matériaux pouzzolaniques à La Réunion (Thibaut *et al.*, 2001) ;
- évaluation des ressources et potentiel de valorisation des matériaux argileux à La Réunion (Thibaut *et al.*, 2001).

D'après ces études, les matériaux argileux de La Réunion proviennent principalement de l'altération ferrallitique sous climat tropical chaud et humide de roches volcaniques de deux types :

- scories de cônes volcaniques, bien circonscrits géographiquement, comme dans le secteur des Avirons – Piton St-Leu ;

- coulées de lave, tufs et brèches volcaniques qui occupent généralement de grandes superficies, comme dans les secteurs de Ste-Marie et Ste-Suzanne.

En revanche, les argiles grises de Savannah (argiles alluviales de la plaine de Saint-Paul) n'ont pas été retenues comme gisement potentiel pour les raisons suivantes : « présence d'eau ou de vase rendant l'exploitation impossible », « aménagement et urbanisation du site interdisant toute exploitation » (Girel et Hermans, 2001).

Les altérites (argiles rouges des études CTTB) présentent une composition minéralogique globale assez uniforme et indépendante de la nature pétrographique de la roche-mère. Les principaux minéraux constitutifs sont les suivants : métahalloysite (minéral proche de la kaolinite), gibbsite (hydrate d'alumine), goëthite, hématite et magnétite (oxydes de fer). Il est important de noter l'absence de minéraux argileux du type illite ou smectite, de quartz ou de feldspath.

Ces matériaux présentent une composition chimique très atypique par rapport aux argiles classiquement utilisées pour la fabrication de produits de terre cuite : fort déficit en silice, assez forte teneur en alumine, teneur excessive en fer, quasi-absence d'alcalis.

Compte tenu de cette composition particulière, ces altérites ne peuvent être utilisées seules pour la fabrication de produits de terre cuite. Il est nécessaire de les corriger par ajout d'argile plastique pour permettre leur façonnage et améliorer leur cohésion en cru et par ajout de sable dégraissant et fondant pour diminuer le retrait, la porosité et améliorer la résistance mécanique des produits cuits.

Les tests de fabrication effectués par mélange des argiles d'altération à des tufs et scories volcaniques de La Réunion et des argiles plastiques métropolitaines montrent qu'il est possible de fabriquer des produits de terre cuite de qualité satisfaisante par pressage ou extrusion à partir d'un mélange constitué de :

- 50 à 70 % de pouzzolanes (tufs de St-Pierre, par exemple) ;
- 20 à 25 % d'argile d'altération ;
- 5 % (pressage) ou 20 % (extrusion) d'argile plastique.

Il serait aussi envisageable de fabriquer des carreaux de grès à partir de la composition suivante :

- 10 % d'argile d'altération ;
- 20 % de pouzzolanes ;
- 30 à 35 % de feldspath ;
- 20 % de sable siliceux ;
- 20 % d'argile plastique.

### 3. Choix des matières premières

Les résultats des études antérieures montrent que deux voies sont envisageables pour fabriquer des produits de terre cuite à l'échelle industrielle :

- prendre comme base l'argile grise de Savannah et y ajouter d'autres argiles de La Réunion (altérites) ou de Madagascar (argiles plastiques) et des fondants-dégraissants (sable siliceux, tufs volcaniques, feldspath, ...),
- prendre comme base des pouzzolanes (tufs pyroclastiques cendro-ponceux de Saint-Pierre) en y ajoutant des argiles de La Réunion (altérites) et de Madagascar (argiles plastiques).

S'il est vrai qu'il sera probablement délicat d'ouvrir une carrière sur le site de Savannah, ce problème mérite toutefois d'être étudié en détail dans la mesure où il se confirme que l'argile grise qui s'y trouve, permet de fabriquer des produits de terre cuite de bonne qualité à La Réunion.

Afin d'étudier ces deux voies, les travaux suivants ont ainsi été programmés en 2003 :

- prélèvement à La Réunion de différents lots de l'ordre de 100 kg de matériaux argileux et pouzzolaniques ;
- prélèvement à Madagascar de différents lots de l'ordre de 100 kg d'argiles, sables siliceux, feldspath ;
- caractérisation minéralogique et chimique des différents matériaux ;
- essais de fabrication dans les laboratoires du brgm, à Orléans, de barrettes de terre cuite à partir de différents mélanges de matières premières ;
- essais de fabrication au Centre Technique des Tuiles et Briques de briques pleines et creuses, tuiles, carreaux à partir de mélanges présélectionnés.

**Sept matériaux de La Réunion ont été retenus pour ces tests :**

- 3 argiles d'altération de Piton Rouge (Les Aviron), Bassin Martin (St-Pierre), La Caroline (Bras-Panon) ;
- 2 argiles alluviales de Quartier Français ( Ste-Suzanne) et Savannah (St-Paul),
- 2 pouzzolanes de La Saline (St-Pierre) et Piton Villers (Le Tampon).

Seules, les pouzzolanes font aujourd'hui, l'objet d'une exploitation en carrière.

**Sept matériaux de Madagascar ont été également sélectionnés** dans la zone située entre Antananarivo et Toamasina (Tamatave). Cette région a été retenue car il est possible d'y envisager de transporter ces matériaux par camion jusqu'au port de Toamasina, puis de charger des bateaux à destination de La Réunion. Les matériaux retenus ont été les suivants :

- 4 argiles : argile blanche A1 d'Ambatolampy (route d'Antsirabe), argile rouge A2 de Moramanga (route de Toamasina), argile rouge A3 de Sabotsy Namehana (près d'Antananarivo), argile blanche tachetée de rouge A4 de Moramanga ;
- 2 sables siliceux : sable brut de Moramanga, sable d'Ibity (près d'Antsirabe) ;
- 1 feldspath : feldspath potassique micronisé d'Ibity.

La plupart de ces matériaux font l'objet d'une exploitation en carrière à l'échelon artisanal (A1, A3) ou semi-industriel (A2, A5, A6, A7).

## **4. Description des sites d'échantillonnage**

### **4.1. MATERIAUX PRELEVES A LA REUNION**

La localisation sur des extraits de cartes topographiques IGN à 1/25 0000 et les photographies des gisements retenus pour cette étude, sont présentées en annexe 1.

#### **4.1.1. Argile d'altération de Piton Rouge**

Le gîte d'argile de Piton Rouge est situé sur la commune des Avirons. Pour y accéder à partir du centre de l'agglomération, il faut suivre vers le nord la route D16 sur 2 km environ, puis prendre vers l'est le chemin de Mélina.

Ce site se présente sous la forme d'une petite colline entaillée sur son flanc sud par une ancienne carrière dont le front de taille mesure 40 m de long et 6 m de haut. (cf. annexe 1 ; photographie 1). Le matériau extrait aurait été utilisé autrefois pour la fabrication de poteries.

Il s'agit d'une argile d'altération d'un cône de projections (lapilli, blocs) basaltiques, de teinte rouge, granuleuse, d'apparence homogène. On y reconnaît toutefois localement des fantômes argilisés jaune-brun des téphra originels.

Au dessous de cette carrière, de l'autre côté du chemin vers le sud-ouest, la zone argilisée se poursuit (matériau observable sur deux talus superposés de 3 m de haut), dans une zone en cours de viabilisation (parking).

De part et d'autre de l'ancienne carrière, des blocs scoriacés lie de vin, non argilisés, à gros feldspaths blancs, sont observables.

En vue d'une éventuelle exploitation de ce gîte d'argile rouge, il faudrait estimer les réserves disponibles. La surface exploitable prise en compte lors de l'étude de faisabilité d'une briqueterie à Saint-Paul en 1971, était de 1,3 ha. Mais ce matériau était seulement employé comme complément aux mélanges, à des fins de coloration. D'autre part, ce site se présente sous la forme d'une colline boisée visible de nombreuses habitations, d'une piscine et d'un terrain de sport (nous sommes en bordure nord de l'agglomération des Avirons) et des réservoirs d'eau sont présents à proximité. Une étude sérieuse de l'impact sur l'environnement d'une réouverture de cette carrière serait indispensable.

#### **4.1.2. Argile d'altération de Bassin Martin**

Le gîte d'argile de Bassin Martin est situé au nord de la commune de St-Pierre. Pour y accéder, il faut sortir de l'agglomération par la route N2, puis prendre vers le nord sur environ 6 km en direction de Bassin Plat, puis de Bassin Martin (cf. annexe 1).

Ce site se présente sous la forme de petites collines (Piton de Bassin Martin) dont la bordure nord est entaillée par le talus de la route vers Bassin Martin. Ce talus constitue un affleurement de l'ordre de 100 m de long et 3 m de haut (cf. annexe 1 ; photographie 2).

Le matériau observable est une argile d'altération de projections basaltiques, de teinte brune, granuleuse. On y distingue toutefois un faciès supérieur de 1 m d'épaisseur d'argile brune homogène surmontant un faciès inférieur de 2 m d'épaisseur visible d'argile brun-jaune à rares éléments violacés scoriacés, peu argilisés.

En vue d'une éventuelle exploitation de ce gîte d'argile brune, il faudrait estimer les réserves disponibles. Ce site dépourvu d'habitations paraît assez favorable à une ouverture de carrière, mais est occupé par des plantations de canne à sucre.

#### **4.1.3. Argile d'altération de La Caroline**

Le gîte d'argile de La Caroline est situé sur le territoire de la commune de Bras-Panon, à environ 5 km du bourg. Pour y accéder, il faut sortir de l'agglomération vers le sud, passer la voie express et prendre vers l'ouest en direction de La Caroline, puis vers le sud jusqu'au terrain de moto-cross (cf. annexe 1).

Ce site est accessible par une piste empierrée en mauvais état qui longe le flanc ouest d'une vallée. L'argile affleure dans le talus de la piste de moto-cross. Dans la partie la plus haute de cette zone, l'affleurement mesure 70 m de long et 3 à 8 m de haut (cf. annexe 1 ; photographie 3). On y observe la coupe suivante (en partant du haut) :

- 1,5 m d'argile brune homogène ;
- 1 m d'argile brun-rouge à nodules gris-noir ;
- 1 m de lave gris-violacé partiellement argilisée, à points blancs, et texture bulleuse ;
- basalte altéré gris-bleu à débit en boules.

Seuls, les deux niveaux supérieurs ont été échantillonnés.

L'ouverture d'une carrière sur ce site est envisageable, compte tenu de l'absence d'urbanisation et de cultures et dans la mesure où le matériau altéré présente une homogénéité suffisante. Mais dans ce cas, il faudrait auparavant remettre la piste en état de façon à permettre l'accès des camions.

#### **4.1.4. Argile alluviale de Quartier Français**

Dans la perspective de découvrir des argiles plastiques à La Réunion, une prospection préliminaire d'argile alluviale a été entreprise dans la région de Ste-Suzanne, suite aux informations recueillies auprès de M. Cruchet, géologue au Service géologique régional du brgm à La Réunion.

Le secteur de Commune Carron signalé comme prometteur, s'est révélé décevant (seules, des roches volcaniques altérées ont pu être observées).

En revanche, dans le secteur de Quartier Français, près de l'intersection de la voie express et de la Grande Rivière St-Jean (cf. annexe 1) des argiles alluviales brun-sombre assez plastiques ont pu être observées dans une tranchée (cf. annexe 1 ; photographie 4) :

- terre végétale brune (0,4 m d'épaisseur) ;
- argile brune à traces jaunes et rouilles devenant progressivement sableuse (0,6 m) ;
- sable grossier gris sombre à traces rouilles (0,2 m visible).

Compte tenu de l'épaisseur très limitée de l'argile observée et de la localisation du site

dans une zone en cours d'aménagement, il n'est pas envisageable d'y ouvrir une carrière. Mais si l'argile présente la qualité requise, ce mode de dépôt sédimentaire situé dans la basse vallée des rivières devra être prospecté de façon plus soutenue.

#### **4.1.5. Argile alluviale de Savannah**

Le gîte de Savannah est situé sur le territoire de la commune de St-Paul, en bordure nord de la rivière de l'Etang de St-Paul. Pour y accéder, il faut quitter la voie express (N1) au niveau de cette rivière et prendre la route D4 vers Savannah, puis le chemin vers l'ancienne distillerie (cf. annexe 1).

Ce site avait fait l'objet d'une reconnaissance par sondages à la tarière de 6 m de profondeur et à la pelle mécanique (3,5 m et 4,5 m de profondeur) en 1971 et 1972, dans le cadre du projet de création d'une briqueterie à Saint-Paul (cf chapitre 2.1). Ces sondages ont révélé l'existence d'une alternance de niveaux d'argile sableuse et sable argileux de teinte noire à gris foncé (base de la formation non atteinte).

Suite à des essais de cuisson réalisés par le CTTB, ce matériau avait été pris comme base de fabrication dans le cadre du projet « briqueterie de St-Paul » (70 parties argile grise Savannah et 30 parties argile rouge).

Une zone de 10-12 ha située en bord de rivière avait été retenue pour l'ouverture d'une carrière, représentant une réserve de 390 000 tonnes, dans l'hypothèse d'une exploitation jusqu'à 4 m de profondeur. Le gisement étant situé en zone basse à proximité de la rivière, l'extraction de ces argiles sableuses aurait dû être entreprise sous le niveau de la nappe ou après dénoyage.

Si l'argile sableuse de Savannah présente effectivement la qualité requise pour une utilisation en briqueterie, l'ouverture d'une carrière est-elle encore envisageable dans cette zone en 2004 ?

Sur le plan foncier, les terrains appartiendraient pour partie au Conseil Général et au Groupe Bourbon. Un Espace Naturel Sensible y a également été délimité.

Cette zone est actuellement occupée par les anciens bâtiments de la distillerie et est utilisée comme décharge sauvage (nombreuses carcasses de véhicules même dans la zone classée « Espace Naturel Sensible » (cf. annexe 1 ; photographies 5 à 8).

Cet espace libre est très convoité pour différents projets (eau, agriculture, réhabilitation des bâtiments en bureaux). De plus, l'urbanisation se développe à proximité (présence d'un centre commercial).

Compte tenu de la pression foncière, l'ouverture d'une carrière devrait être éventuellement envisagée dans le cadre d'un projet d'aménagement concerté sur l'ensemble de la zone de Savannah.

Un échantillon d'argile sablo-limoneuse gris-noir a été prélevé au tracto-pelle entre 0,6 et 2,5 m de profondeur en vue d'effectuer des tests complémentaires (cf. annexe 1 ; photographies 9 et 10).

#### **4.1.6. Tufs pyroclastiques de La Saline**

Le gisement de tufs pyroclastiques de La Saline est situé sur la commune de St-Pierre et exploité par la société HOLCIM pour la production de ciment (tuf mélangé avec clinker puis broyé dans une usine située au Port).

Pour accéder à la carrière, quitter la voie express (RN1) en arrivant à l'entrée ouest de St-Pierre, puis revenir en arrière en longeant la voie express sur 0,5 km de distance (cf. annexe 1).

Cette carrière présente une forme allongée de 100 m de large sur 500 m de long avec un front de taille de 8 à 10 m de haut.

Le matériau extrait à la pelle mécanique et au chargeur, est une pouzzolane gris-noir, cendreuse et ponceuse (fragments de ponce noirâtre atteignant jusqu'à 25 cm de diamètre). Au sommet du front de taille, on observe une coulée de basalte de l'ordre de 2 m d'épaisseur (cf. annexe 1 ; photographies 11 et 12).

#### **4.1.7. Projections volcaniques de Piton Villers**

Le gisement de projections basaltiques du cône volcanique de Piton Villers est situé sur la commune du Tampon, à 1 km au nord de Bourg Murat et exploité par la société SBTPL.

Pour accéder à la carrière, il faut prendre la RN3 entre St-Pierre et St-Benoît et à 1 km au nord de Bourg-Murat, prendre une piste vers l'ouest sur 0,7 km environ (cf. annexe 1)

La carrière ouverte sur le flanc nord du Piton Villers exploite sur au moins 10 m d'épaisseur, des projections scoriacés rouges et grises avec une coulée de basalte intermédiaire.

Cette coulée de basalte vacuolaire gris-bleu de l'ordre de 2 m d'épaisseur est débitée au brise-roche. Les éléments scoriacés présentent généralement une granularité de 1 à 10 cm (lapilli et blocs).

Une installation récente équipée de différents concasseurs (à mâchoires, giratoire, à rouleaux) et d'un crible permet de produire différentes granulométries entre 0/4 et 0/80 mm (cf. annexe 1 ; photographies 13 et 14).

L'échantillon prélevé pour les tests de fabrication de produits de terre cuite correspond à des cendres grossières et des petits lapilli (0/4 mm).

## **4.2. MATERIAUX PRELEVES A MADAGASCAR**

Ces matériaux ont été prélevés à proximité d'axes routiers, dans une bande entre Antananarivo et Toamasina (Tamatave) comme le montre le plan de localisation en annexe 1.

Les caractéristiques de ces différents matériaux (provenance, contexte géologique, origine, distance au port, mode d'exploitation) peuvent être résumées de la manière suivante (prix de vente indisponibles) :

### **- Echantillon A1 - Argile blanche**

Provenance : Miadana Ambatolampy (RN7)

Contexte géologique : Granite et migmatites granitoïdes (550 millions d'années)

Distance au port de Toamasina (Tamatave) : 400 km

Etat d'exploitation : utilisé artisanalement pour la confection de poterie

### **- Echantillon A2 - Argile rouge**

Provenance : Mangoro Moramanga (RN2)

Contexte géologique : Migmatites du système du Graphite (2600 millions d'années) avec recouvrement par des sédiments lacustres du Plio-pléistocène

Distance au port de Toamasina : 230 km

Etat d'exploitation : utilisé par la briqueterie semi-industrielle Tany Manga Malagasy

**- Echantillon A3 - Argile rouge**

Provenance : Sabotsy Namehana (à 10 km d'Antananarivo)

Contexte géologique : Migmatites granitoïdes (550 millions d'années)

Distance au port de Toamasina : 330 km

Etat d'exploitation : utilisé pour la confection de briques

**- Echantillon A4 - Argile blanche tachetée de rouge**

Provenance : Moramanga (RN2)

Contexte géologique : Migmatites du système du Graphite (2600 millions d'années) avec recouvrement par des sédiments lacustres du Plio-pléistocène

Distance au port de Toamasina : 220 km

Etat d'exploitation : non exploité

**- Echantillon A5 - Sable siliceux brut**

Provenance : Moramanga (RN2)

Contexte géologique : Migmatites du système du Graphite (2600 millions d'années) avec recouvrement par des sédiments lacustres du Plio-pléistocène

Distance au port de Toamasina : 220 km

Etat d'exploitation : utilisé par la briqueterie semi-industrielle Tany Manga Malagasy

**- Echantillon A6 - Sable siliceux**

Provenance : Ibity (à proximité d'Antsirabe)

Contexte géologique : Quartzites de l'Ibity (Précambrien)

Distance au port de Toamasina : 480 km

Etat d'exploitation : anciennement exploité par la société PROCHIMAD ; peut être remis en exploitation en fonction des commandes

**- Echantillon A7 - Feldspath potassique micronisé**

Provenance : Ibity (à proximité d'Antsirabe)

Contexte géologique : Quartzites de l'Ibity (Précambrien)

Distance au port de Toamasina : 480 km

Etat d'exploitation : anciennement exploité par la société PROCHIMAD ; peut être remis en exploitation en fonction des commandes.

## 5. Caractérisation physico-chimique des matériaux sélectionnés

Des analyses minéralogiques, chimiques et granulométriques ont été réalisées dans les laboratoires du brgm à Orléans (procès-verbaux d'analyses joints en annexe 2).

### 5.1. COMPOSITION MINÉRALOGIQUE DES ARGILES

Les analyses minéralogiques semi-quantitatives ont été effectuées par diffractométrie de rayons X sur poudre, technique qui permet de classer les différents minéraux en fonction de leur ordre d'importance : très abondant (TA), abondant (A), présent (P), Faible (F), traces (Tr).

Sur quelques échantillons (Savannah et Madagascar A2), des analyses complémentaires ont été entreprises sur lames orientées normales, glycolées et chauffées en vue de préciser la composition de la fraction phylliteuse (minéraux exprimés en pourcentage).

La composition minéralogique des matériaux argileux de La Réunion et de Madagascar analysés en 2003, est synthétisée dans le tableau 1. Nous avons également indiqué dans ce tableau, les résultats d'analyses minéralogiques déjà effectuées par le brgm en 1998 (analyses non reprises en 2003).

#### 5.1.1. Composition minéralogique des argiles de La Réunion

**Les argiles issues de l'altération des roches volcaniques (Les Aviron, Bassin Martin, Bras Panon) présentent la composition minéralogique suivante :**

- les seuls minéraux argileux (phyllites) sont la kaolinite et la métahalloysite (halloysite déshydratée, du groupe de la kaolinite), minéraux en teneur significative dans les échantillons en provenance des Aviron et de Bassin Martin, seulement en faible quantité dans l'échantillon de Bras Panon ;
- ces matériaux sont riches en goethite (hydrate de fer) ;
- de plus, l'échantillon de Bras Panon contient une forte quantité de gibbsite (hydrate d'aluminium).

**L'argile de Savannah** (argile alluviale) présente une composition très différente à base de quartz, plagioclase (feldspath sodi-calcique), diopside (pyroxène calcique et magnésien) et smectite (argile gonflante) avec une phase amorphe non négligeable. Cette composition particulière pourrait présenter un intérêt pour la fabrication de produits de terre cuite : présence de smectite apportant de la plasticité à la pâte et résistance mécanique sur les produits crus et de diopside riche en calcium et magnésium, permettant d'envisager une cuisson rapide des produits.

**L'argile de Quartier Français**, envisagée comme substitut à l'argile Savannah du fait de son origine alluviale, si elle contient également du plagioclase et une phase amorphe, paraît beaucoup plus pauvre en diopside et smectite et contient de l'hématite (oxyde de fer).

### **5.1.2. Composition minéralogique des argiles de Madagascar**

Ces argiles présentent des compositions assez voisines : quartz (traces à faible), gibbsite (faible à présent), kaolinite (présent). Seul, l'échantillon A2 contient, en plus, de l'orthose (feldspath potassique) en teneur significative.

Filère céramique à La Réunion - Essais de fabrication des produits de terre cuite

Minéraux	La Réunion (1998)			La Réunion (2003)			Madagascar (2003)			
	Les Aviron (REU 006)	Bassin Martin (REU 009)	Bras Panon (REU 008)	Bras Panon	Savanah	Quartier Français	A1	A2	A3	A4
quartz					Tr à F		Tr à F	Tr à F	Tr à F	Tr à F
tyndinite						Tr (possible)				
crystalloïte								Tr (possible)	Tr (probable)	
plagioclase				Tr	F à P	F à P				
orthose								F à P		
microcline									Tr	
andalouite					Tr (probable)					Tr (possible)
dipsite					F à P	Tr		Tr (probable)	Tr	
nonibande								Tr		
alphanite						Tr (probable)				
vesuvianite						Tr à F (probable)				
gibbsite			TA	F à P		Tr	F à P	F	Tr à F	F
goethite	P	TA	P	Tr à F			Tr (probable)	Tr à F (probable)		
hématite				Tr	Tr (probable)	Tr à F				
magnétite	F				Tr (probable)		Tr			Tr à F
iléménite			Tr							
kaolinite	P			Tr	Tr		P à A	F	P	P
mélanoalloysite	A	P (Kaolinite associée)	Tr							
smectite					P					
sépiolite										
chlorite				Tr				Tr (probable)		
talc					Tr (probable)					
magnésite				Tr (probable)	Tr (probable)					
gypse								Tr		
phase amorphe				probable	F	P				

TA : très abondant A : abondant P : présent F : faible Tr : traces

Tabl. 1 - Composition minéralogique des matériaux argileux de La Réunion et de Madagascar (analyses brgm par diffractométrie RX)

## 5.2. COMPOSITION CHIMIQUE

La plupart des analyses chimiques ont été réalisées par fluorescence X. Seul, l'échantillon d'argile de Savannah a fait l'objet d'analyses complémentaires par différentes techniques pour déterminer les teneurs en chlore, soufre total, fluor et carbone organique (cf. annexe 2).

### 5.2.1. Composition chimique des matériaux de La Réunion

Les résultats des analyses synthétisés dans le tableau 2 montrent que **les argiles issues de l'altération des roches volcaniques** présentent une composition très différente de celle des matières argileuses utilisées classiquement pour la fabrication de produits de terre cuite (tableau 4), comme déjà observé dans une précédente étude du brgm en 2001 (rapport BRGM/RP-50866-FR) :

- faible teneur en silice (15 à 33 %, au lieu de 40 à 80 %) ;
- très forte teneur en fer (20 à 35 %, au lieu de 3 à 8 %) ;
- assez forte teneur en alumine (20 à 30 %, au lieu de 7 à 20 %) ;
- très faible teneur en alcalins (0 à 0,2 % au lieu de 2 à 3 %).

Cette composition chimique atypique est à mettre en relation avec la minéralogie particulière de ces argiles : absence de quartz, présence de goethite et gibbsite, présence de minéraux argileux du groupe de la kaolinite uniquement.

**L'argile de Savannah**, d'origine alluviale, présente en revanche, une composition chimique plus proche de celle des argiles utilisées pour les tuiles et briques :

- teneurs en silice, en alumine et en alcalins correctes (47 %, 12 % et 3%) ;
- teneur en fer un peu forte (13 %).

Les teneurs en CaO et MgO sont élevées (9 % et 9,1 %) essentiellement à cause de la présence de diopside.

Compte tenu de la couleur gris-noir de cette argile nous avons déterminé les teneurs en chlore, fluor, carbone organique et soufre (tableau 2). Ces teneurs sont très faibles et ne devraient pas, *a priori*, poser des problèmes de corrosion de matériel ou d'émissions polluantes (il faudrait toutefois mesurer la teneur en fluor qui ne se combine pas dans les produits cuits ou fluor expugnable).

**L'argile alluviale prélevée à Quartier Français**, près de Ste Suzanne, présente une composition voisine de celle des argiles d'altération (argile des Avirons). Compte tenu de cette composition et de la localisation du site dans une zone en cours d'aménagement, nous n'avons pas pris en considération cette argile dans la poursuite de l'étude (essais de cuisson).

**Les projections scoriacées et les tufs pyroclastiques volcaniques du Tampon et de Saint-Pierre** présentent une composition chimique assez proche de celle de l'argile de Savannah : 45 à 56 % SiO<sub>2</sub>, 14 à 16 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 10 à 14 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5 à 9 % CaO, 2 à 9 % MgO, 3 à 4 % K<sub>2</sub>O + Na<sub>2</sub>O.

Les tufs de Saint-Pierre ont été retenus pour les essais de cuisson du fait de leurs teneurs plus élevées en silice et alcalins, par rapport aux projections scoriacées du Tampon.

### 5.2.2. Composition chimique des matériaux de Madagascar

Les résultats des analyses synthétisés dans le tableau 3 montrent que :

- **l'argile blanche A1** présente une très forte teneur en alumine (41 %), une faible teneur en silice (38 %) et une très faible teneur en fer (1 %), à mettre en relation avec

sa composition minéralogique à base de kaolinite et gibbsite. Cette argile pourrait probablement convenir comme argile réfractaire.

- **les argiles brun-rouge A2, A3, A4**, de compositions chimiques voisines, sont plus riches en silice (49 à 51 %) et en fer (3 à 7 %), et plus pauvres en alumine (27 à 29 %). Les teneurs en alcalins de ces argiles varient de 0,1 % (A4) à 1,1 % (A3) à 2,5 % (A2).

- **le sable A5** est essentiellement composé de silice (95 %), avec un peu d'alumine et de fer. Il en est de même pour le **sable A6** de la société PROCHIMAD.

- **le feldspath A7** (PROCHIMAD) est un feldspath potassique (9 %  $K_2O$ ), légèrement sodique (2 %  $Na_2O$ ). Mais la perte au feu (9 %) laisse supposer la présence d'une fraction argilo-micacée non négligeable.

Filière céramique à La Réunion - Essais de fabrication de produits de terre cuite

	Les Avirons Piton Rouge	Bras Panon La Caroline	Saint-Pierre Bassin Martin	Saint-Paul Savannah	Sainte-Suzanne Quartier Français	Le Tampon Piton Villers	Saint-Pierre La Saline
	<i>anal. CTTB 1969</i>	<i>anal. brgm 2003</i>	<i>anal. brgm 2001</i>	<i>anal. brgm 2003</i>	<i>anal. brgm 2003</i>	<i>anal. Brgm 2001</i>	<i>anal. brgm 2001</i>
Nature	Argile	Argile	Argile	Argile	Argile	Scories	Tufs
Chimisme							
PF %	13.30	18.20	12.80	3.53	10.40	0.40	1.80
SiO <sub>2</sub> %	32.90	14.80	24.80	46.70	34.50	45.90	54.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	27.20	30.10	21.30	12.40	22.40	13.90	16.20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	19.30	29.60	36.20	12.90	20.00	13.50	10.30
TiO <sub>2</sub> %	4.84	5.34	3.83	2.48	5.36	2.80	1.96
CaO %	1.04	0.10	0.10	9.00	2.00	9.40	5.20
MgO %	0.65	0.40	0.50	9.10	1.40	9.00	2.30
K <sub>2</sub> O %	0.00	-0.05	-0.05	0.88	0.90	0.86	2.34
Na <sub>2</sub> O %	0.17	-0.20	-0.20	2.10	1.70	2.80	1.96
MnO %	0.21	0.14	0.17	0.20	0.19	0.18	0.20
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %		0.17	0.09	0.30	0.46	0.35	0.33
Cl %				0.02			
C organique %				0.13			
F ppm				410			
S total %				-0.01			

Tabl. 2 - Composition chimique des matériaux de La Réunion

	Ambatolampy	Moramanga	Antananarivo	Moramanga	Moramanga	Antsirabe	Antsirabe
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7
	<i>anal. brgm 2003</i>	<i>anal. Prochimad 2003</i>	<i>anal. brgm 2003</i>				
Nature	Argile	Argile	Argile	Argile	Sable siliceux	Sable siliceux	Feldsaph
Chimisme							
PF %	17.20	10.50	12.40	12.80	0.60	1.5	8.90
SiO <sub>2</sub> %	38.10	49.00	48.80	51.30	94.70	87.10	51.90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	41.20	26.60	28.10	29.20	2.00		14.50
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	1.02	7.60	6.90	2.78	0.85	2.20	0.27
TiO <sub>2</sub> %	1.00	1.66	1.00	2.40	0.74		-0.05
CaO %	-0.10	0.40	0.10	-0.10	0.10	3.60	6.80
MgO %	-0.20	0.50	0.20	-0.20	0.20		4.50
K <sub>2</sub> O %	-0.05	1.93	1.08	0.08	0.60		9.15
Na <sub>2</sub> O %	-0.20	0.60	-0.20	-0.20	0.20		1.90
MnO %	-0.02	0.04	0.05	0.03	0.03		0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	0.17	0.16	0.09	0.15	-0.05		-0.05

Tabl. 3 - Composition chimique des matériaux de Madagascar

		Argile à tuiles de Bourgogne			Argile à tuiles de la région marseillaise			Argile schisteuse de la région lyonnaise (fabrication de produits creux)			Argile à produits creux du sud de la région parisienne			Lass d'Alsace (fabrication de produits perforés en mélange avec une marne)			Terre franche (fabrication de briques pleines)		
Analyse chimique (%)	Perte au feu	6,83			15,5			10,8			8,4			16,4			3,05		
	Silice (SiO <sub>2</sub> )	61,5			42,6			51,5			58,9			50,9			77,8		
	Alumine (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	18,70			17,50			20,70			24,00			7,29			9,26		
	Fer (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	8,05			6,10			6,20			5,37			2,90			4,00		
	Chaux (CaO)	0,96			11,90			4,85			0,75			16,90			1,28		
	Titane (TiO <sub>2</sub> )	0,89			0,73			1,01			1,30			0,46			0,76		
	Magnésie (MgO)	1,06			2,59			1,90			0,36			2,65			0,76		
	Potasse (K <sub>2</sub> O)	2,06			2,49			2,10			0,91			0,86			2,01		
	Soude (Na <sub>2</sub> O)	0,42			0,37			0,71			0,13			0,91			0,89		
Analyse granulométrique (%)	< 2,5 µm	44,3			17,4			7,5			57,3			3,3			12		
	2,5 - 10 µm	32			57,1			36,5			27			14,2			26		
	10 - 40 µm	12,7			24,5			43			8,5			72,4			29		
	> 40 µm	11			1			13			7,2			10,1			33		
Composition minéralogique	Illite Micas Quartz			Illite Calcaire + Quartz			Illite Quartz Calcaire			Kaolinite Quartz			Calcite + Illite			Quartz + Illite			
Humidité de façonnage (% du poids sec)	24,7			26			25,2			26,7			- 20			- 24			
Retrait de séchage (% long. sèche)	7,25			6,9			4,6			5,2			- 3			- 3			
Palier de cuisson	Température (° C)	850	950	1050	850	950	1050	850	950	1050	850	950	1050	850	950	1050	850	950	1050
	Retrait de cuisson (%)	1,2	4,2	5,7	-0,2	-0,6	0,6	0,2	0,2	0,7	2,4	3,2	5,8	-0,7	-1	-1	-0,4	1,1	4,5
	Coefficient d'absorption d'eau (%)	9,9	4,6	1,7	18,2	18,5	17,7	19,5	18,6	17,8	13,6	12	7	31,9	32,4	33,3	14,9	12,6	6

Nota : le signe - devant certains chiffres de retrait indique qu'il y a eu, en fait, dilatation.

Tabl. 4 - Caractéristiques des principaux types d'argiles utilisés en France dans la fabrication des produits de terre cuite (document CTTB)

### 5.3. COMPOSITION GRANULOMETRIQUE

La teneur en éléments de dimension supérieure à 50 microns contenue dans les échantillons d'argiles a été déterminée par lavage sur tamis (tableau 5). Cette teneur varie beaucoup selon les échantillons :

- elle est faible pour les argiles d'altération des roches volcaniques de La Réunion (2 à 6 %) et pour l'argile A1 de Madagascar (1%) ;
- elle est beaucoup plus élevée pour les argiles alluviales de La Réunion (29 à 35 %) ;
- elle varie entre 11 et 28 % pour les autres argiles de Madagascar.

Une analyse granulométrique du sable A5 en provenance de Madagascar montre que :

- la teneur en éléments supérieurs à 2 mm est de 1,2 % ;
- la teneur en éléments supérieurs à 0,5 mm est de 40,2 % ;
- la teneur en éléments inférieurs à 50 microns est de 1,3 %.

Echantillons	Fraction > 50 µm %
Les Aviron - Piton Rouge	5,37
St-Paul - Savannah	35,44
St-Pierre – Bassin Martin	2,29
Ste-Suzanne - Quartier Français	29,12
Madagascar A1	4,57
Madagascar A2	28,39
Madagascar A3	11,81
Madagascar A4	20,20

**Tabl. 5 - Détermination de la fraction supérieure à 50 microns présente dans les échantillons d'argile de La Réunion et Madagascar**

## 6. Résultats des essais de cuisson réalisés au brgm

Pour ces essais de cuisson, nous avons sélectionné les matériaux suivants : argiles des Aviron et de Savannah, pouzzolanes de Saint-Pierre pour La Réunion, argiles A1 à A4, sable A5 et feldspath A7 de Madagascar.

### 6.1 MODE OPERATOIRE

Quatorze séries d'éprouvettes ont été fabriquées à partir d'une seule argile ou de mélanges de plusieurs matériaux ( annexe 3).

Tous les matériaux réceptionnés au laboratoire du brgm à Orléans, ont été préalablement séchés, puis broyés à une granulométrie inférieure à 0,5 mm. Les produits soumis aux essais de cuisson ont été homogénéisés, puis malaxés avec de l'eau et extrudés pour obtenir des éprouvettes de section carrée 20 mm X 20 mm découpées en éléments de longueur 110 mm.

Les éprouvettes ont ensuite été séchées à 105 °C pendant 24 h, puis cuites dans un four programmé pour une montée en température de 100 °C/h et un palier de 2 h à la température de cuisson sélectionnée (refroidissement par arrêt du four).

Les différentes mesures ont été ensuite effectuées sur les éprouvettes :

- teneur en eau et pertes au feu : pesée des éprouvettes après fabrication, étuvage et cuisson ;
- retraits au séchage et à la cuisson : la distance entre des marques tracées sur les barrettes est mesurée au pied à coulisse après fabrication, séchage et cuisson ;
- couleur : elle est déterminée à l'aide du code MUNSSELL sur chaque éprouvette après fabrication, séchage et cuisson ;
- absorption d'eau après cuisson : cette mesure est réalisée en pesant les éprouvettes avant et après immersion dans l'eau durant 48h à température et pression ambiante.

Tous les résultats des mesures de teneur en eau, pertes au feu et retraits au séchage et à la cuisson sont exprimés en pourcentage et calculés par rapport à l'échantillon séché en étuve à 105 °C.

### 6.2 RAPPEL DES PRINCIPALES CARACTERISTIQUES EXIGÉES POUR LES PRODUITS DE TERRE CUITE

D'après les ingénieurs du Centre Technique des Tuiles et Briques (communication orale), les principales caractéristiques à prendre en compte au cours de la fabrication des produits de terre cuite sont les suivantes :

- **une teneur en eau de façonnage de l'ordre de 20 à 25 %** : une teneur en eau plus élevée risque d'engendrer des problèmes de casse et un surcoût énergétique au séchage ;

- **un retrait de séchage de 3 à 6 % ;**
- **un palier de cuisson assez large :** cette notion s'apprécie au niveau de la pente des courbes d'évolution du retrait de cuisson et d'absorption d'eau, en fonction de la température de cuisson ; si les pentes sont fortes (mauvais palier de cuisson), cela risque d'engendrer des hétérogénéités de la qualité des produits finis (porosité, dimension) liées aux variations de température, en différents points de l'intérieur du four ;
- **un retrait de cuisson entre 0 et 5 % ;**
- **une porosité (absorption d'eau) sur cuit, variable selon les produits :** 10 à 15 % pour les briques creuses, 3 à 5 % pour les tuiles et briques pleines, 1 à 3 % pour les carreaux de terre cuite (certains carreaux présentent des porosités plus élevées, de l'ordre de 6 à 8 %, mais ils nécessitent un nourrissage avec des produits à base d'huile de lin).

Ces résultats sont présentés de façon détaillée en annexe 3 et synthétisés dans les tableaux 6 et 7.

### 6.3. RESULTATS DES ESSAIS SUR MONOPRODUITS ARGILEUX

Des tests avaient déjà été entrepris en 1971 sur un échantillon d'argile rouge de La Réunion, en provenance de La Montagne, sur la commune de Saint-Denis (échantillon de composition équivalente à celle de l'argile rouge des Aviron) et sur un échantillon d'argile grise de Savannah.

L'argile rouge avait permis d'étirer des éprouvettes sans difficulté, mais celles-ci se sont fissurées lors du séchage et n'ont pu être soumises aux essais de cuisson. L'extrusion de l'argile grise a permis d'obtenir des éprouvettes, mais celles-ci présentaient des arrachements liés au manque de plasticité de cette argile. Les résultats des essais de cuisson (tableau 6) montrent que cette argile présentait un bon palier de cuisson, mais conduisait à des éprouvettes très poreuses et de résistance mécanique médiocre.

D'après les tests réalisés en 2003 par le brgm (tableau 6), l'argile alluviale prélevée à Quartier Français présente peu d'intérêt pour la fabrication de produits de terre cuite : mauvaise aptitude à l'extrusion, forte teneur en eau de façonnage, forte porosité sur cuit.

Parmi les argiles en provenance de Madagascar, celles qui présentent les meilleures caractéristiques sont les argiles A2 (Moramanga) et A3 (Antananarivo) :

- comportement correct à l'extrusion, mais teneur en façonnage élevée ;
- palier de cuisson assez correct entre 950 et 1050 °C, mais la porosité des produits cuits reste élevée.

Les autres argiles de Madagascar A1 (Ambatolampy) et A4 (Moramanga) paraissent moins favorables : teneur en eau de façonnage très élevée, extrusion difficile et fissuration au séchage pour A1, très forte porosité des produits cuits pour A4.

## 6.4. RESULTATS DES ESSAIS SUR MELANGES

Les essais entrepris en 1971 par le CTTB sur un mélange d'argile grise de Savannah (70 %) et d'argile rouge de La Montagne (30 %) avaient donné des résultats assez satisfaisants : bonne extrusion, mais teneur en eau de façonnage élevée et fort retrait de séchage, porosité diminuant progressivement en fonction de la température. Ces résultats permettaient d'envisager la fabrication de produits de terre cuite à La Réunion, sous réserve de diminuer la proportion d'argile rouge et d'y ajouter un sable dégraissant.

Lors de l'étude des ressources en matériaux argileux réalisée par le brgm en 2001 (rapport BRGM/RP-50866-FR), une autre voie a été proposée pour fabriquer des produits de terre cuite : prendre comme base des matériaux pouzzolaniques, les tufs pyroclastiques de Saint-Pierre notamment (55 à 65 %) et y ajouter des argiles rouges d'altération (20 à 30 %) et des argiles plastiques importées (15 à 20 %). Cela a permis d'obtenir des produits qui se sont extrudés sans difficulté et présentant un faible retrait de séchage, un bon palier de cuisson et une porosité assez faible (10 %) en utilisant comme argile plastique, l'argile exploitée à Nançay dans le département du Cher (mais des fissures sont toutefois apparues au séchage et à la cuisson).

Compte tenu de ces premiers résultats, nous avons testé les trois types de mélanges suivants :

1. mélanges à base d'argile de Savannah (80 %) et de différentes argiles ou pouzzolanes (20 %) ;
2. mélanges composés d'argile de Savannah (55 %), de différentes argiles (25 %) et de pouzzolanes ou de sable (20 %) ;
3. mélanges à base de pouzzolanes (60 %), de différentes argiles de La Réunion (20 %) et de Madagascar (20 %).

### 6.4.1. Mélanges à 80 % d'argile de Savannah

Les trois mélanges n° 5, 10 et 13 (tableau 7) présentent tous l'avantage d'un palier de cuisson correct avec un faible retrait de cuisson. La porosité reste forte entre 14 et 17 %.

Le mélange n° 5 contenant 20 % d'argile des Aviron s'extrude assez bien, mais la teneur en eau de façonnage et le retrait de séchage sont élevés, ce qui risque d'engendrer des difficultés lors du séchage.

Le mélange n° 10 contenant 20 % d'argile A3 de Madagascar s'extrude bien et le retrait de séchage est plus faible.

Pour le mélange n° 13 contenant 20 % de tuf de Saint-Pierre, le retrait est encore plus faible, mais l'extrusion est plus difficile.

### 6.4.2. Mélanges à 55 % d'argile de Savannah

Les mélanges 8, 9 et 14 (tableau 7) s'extrudent correctement et présentent comme les mélanges précédents, un palier de cuisson correct et un faible retrait de cuisson.

Les mélanges n° 8 et 9 contenant de l'argile des Aviron et du sable de Madagascar A5 ou du tuf de Saint-Pierre présentent une teneur en eau de façonnage élevée (n° 9) et un retrait de séchage élevé, proche de 8 %.

Ces caractéristiques s'améliorent pour le mélange 14 qui contient de l'argile de Madagascar A2.

#### **6.4.3. Mélanges à 60 % de tuf de Saint-Pierre**

La pâte des mélanges 7, 11 et 12 (tableau 7) est difficile à extruder.

Le mélange n° 7 contenant de l'argile des Avirons nécessite une teneur en eau de façonnage élevée et les retraits de séchage et cuisson sont forts. La porosité diminue avec la température mais le palier de cuisson est mauvais.

Les mélanges n° 11 et 12 (tableau 7) contenant de l'argile de Madagascar sont plus performants en ce qui concerne les teneurs en eau de malaxage de l'ordre de 25 % et les retraits de séchage. Mais, les paliers de cuisson restent mauvais.

**Compte tenu des porosités élevées de la plupart des produits cuits, seule la fabrication de briques creuses pourrait être envisagée à partir de tels mélanges. Les mélanges 10 et 14 paraissent les plus prometteurs.**

Filière céramique à La Réunion - Essais de fabrication de produits de terre cuite

Composition (%)	Savannah (100)	Quartier Français (100)	Madagascar A1 (100)	Madagascar A2 (100)	Madagascar A3 (100)	Madagascar A4 (100)
Série	CTTB (1971)	brgm6	brgm1	brgm2	brgm3	brgm4
Teneur en eau de façonnage %	28.80	35.46	40.05	34.12	35.87	32.26
Comportement à l'extrusion	peu plastique, arrachements	très peu souple, nombreux arrachements	pâte sèche, peu plastique, petits arrachements	assez souple, bon comportement	souple, bon comportement	pâte sèche, peu plastique, petits arrachements
Retrait de séchage (%)	5.75	6.50	5.27	4.13	6.26	3.23
Perte au feu (%)						
950° C	5.32	9.45	17.07	10.66	12.36	12.64
1000° C	5.48	9.47	17.11	10.66	12.43	12.69
1050° C	5.36	9.46	17.25	10.81	12.57	12.80
1100° C	5.41	9.33	17.36	10.88	12.71	11.84
Retrait de cuisson (%)						
950° C	0.41	3.45	4.26	1.88	3.55	2.13
1000° C	0.55	4.59	4.56	2.36	3.19	2.06
1050° C	0.77	5.79	4.74	5.72	4.95	2.17
1100° C	1.74	6.19	5.04	7.16	9.42	2.06
Absorption d'eau (%)						
950° C	22.40	20.47	fissures	26.20	24.71	29.05
1000° C	22.53	18.39	fissures	24.30	23.84	28.69
1050° C	21.78	15.38	fissures	16.93	18.28	28.61
1100° C	19.03	12.31	fissures	12.41	8.11	27.23

Tabl. 6 - Essais de cuisson sur monoproducts argileux, réalisés au brgm

Filière céramique à La Réunion - Essais de fabrication de produits de terre cuite

Composition (%)	Savannah (80)	Savannah (80)	Savannah (80)	Savannah (55)	Savannah (55)	Savannah (55)	tuf Saint-Pierre (60)	tuf Saint-Pierre (60)	tuf Saint-Pierre (60)
	Les Avirons (20)	Madagascar A2 (20)	tuf Saint-Pierre (20)	Les Avirons (25) sable A5 (20)	Les Avirons (25) tuf Saint-Pierre (20)	Madagascar A2 (25) tuf Saint-Pierre (20)	Les Avirons (20) Madagascar A3 (20)	Savannah (20) Madagascar A3 (20)	Madagascar A2 (40)
Série brgm	5	10	13	8	9	14	7	12	11
Teneur en eau de façonnage %	30.49	28.61	24.53	26.36	31.66	24.46	29.85	24.83	25.86
Comportement à l'extrusion	assez plastique, légers arrachements	assez souple, plastique, bonne extrusion	assez souple, peu plastique, petits arrachements	assez souple, plastique, arrachements	assez souple, plastique, faibles arrachements	assez souple, plastique, légers arrachements	assez souple, peu plastique, petits arrachements	assez souple, peu plastique, petits arrachements	dure, peu plastique, nombreux arrachements
Retrait de séchage (%)	8.80	3.89	2.86	7.70	7.82	3.42	5.54	2.64	1.98
Perte au feu (%)									
950° C	5.31	4.74	4.14	4.77	5.08	4.25	6.30	4.51	5.52
1000° C	5.30	4.73	4.15	4.77	5.06	4.35	6.32	4.56	5.59
1050° C	5.29	4.76	4.15	4.83	5.10	4.40	6.32	4.60	5.63
1100° C	5.28	4.79	4.12	4.88	5.14	4.50	6.33	4.65	5.63
Retrait de cuisson (%)									
950° C	2.07	1.04	0.97	1.78	3.02	1.19	5.39	3.65	4.06
1000° C	2.39	0.83	0.72	1.72	3.51	1.04	7.03	3.91	5.21
1050° C	2.45	1.51	1.29	1.40	1.79	1.65	7.01	5.07	6.09
1100° C	2.99	2.14	3.61	1.29	3.17	2.49	9.38	7.08	8.92
Absorption d'eau (%)									
950° C	15.06	17.83	16.44	13.65	13.66	15.69	10.87	11.23	13.79
1000° C	14.45	17.36	16.39	12.96	12.97	15.15	8.51	10.23	11.40
1050° C	14.37	17.05	15.30	13.05	12.34	14.54	6.66	9.46	10.01
1100° C	13.13	14.54	10.58	12.26	10.35	12.17	2.90	6.27	4.86

Tabl. 7 - Essais de cuisson sur mélanges réalisés au brgm

## 7. Résultats des essais de cuisson réalisés au CTTB

Le Centre Technique des Tuiles et Briques (CTTB) situé à Clamart en région parisienne, est un centre technique à la disposition des industriels, dont la mission est la promotion des matériaux de construction en terre cuite.

Pour mener à bien la définition des potentialités de la filière « produits de terre cuite à La Réunion », il nous a paru indispensable de faire appel au CTTB pour valider et compléter les travaux engagés par le brgm.

Le rapport des travaux réalisés par le CTTB est présenté en annexe 3 (dossier 00674 du 17 février 2004). Nous en rappellerons les principales conclusions.

De nombreux mélanges ont été testés et seuls ceux comportant principalement des matériaux de La Réunion et ayant permis d'obtenir des caractéristiques favorables ont été décrits.

### 7.1. MELANGE N° 00674-7 : ARGILES DE SAVANNAH (80 %) ET DES AVIRONS (20%)

Ce mélange est équivalent au mélange n° 5 testé par le brgm. L'analyse de la courbe de Bigot (évolution du retrait en fonction de la teneur en eau lors du séchage) indique clairement une mauvaise aptitude au séchage. Ainsi, lors d'un essai de fabrication de briquettes creuses, celles-ci se sont fissurées en ambiance de laboratoire.

**Ce mélange de plasticité moyenne, peut-être façonné par extrusion et permet d'obtenir des tessons de bonne qualité céramique. Mais le séchage à l'échelle industrielle s'avérera très difficile.**

### 7.2. MELANGE N° 0674-23 : ARGILES DE SAVANNAH (80 %) ET MADAGASCAR A3 (20%)

La teneur en eau de façonnage est du même ordre que pour le mélange précédent, mais la courbe de Bigot traduit une meilleure aptitude au séchage.

Un essai de séchage programmé (séchage rapide en 3 h) a été réalisé avec succès sur des briquettes creuses à parois fines ou épaisses.

**La substitution de l'argile des Avirons par l'argile A3 de Madagascar n'améliore pas la plasticité du mélange et apporte peu d'amélioration du comportement céramique (retraits de cuisson plus faibles). Mais, elle permet d'envisager un séchage dans le cadre d'un programme classique en usine.**

### 7.3. MELANGE N° 0674-24 : ARGILE DES AVIRONS (70 %) ET FELDSPATH DE MADAGASCAR A7 (30 %)

Ce mélange vise à obtenir des tessons à faible porosité par ajout de feldspath. L'allure de la courbe de Bigot traduit une bonne aptitude au séchage, mais la teneur en eau de façonnage est élevée (34,6 %).

Lors des tests de cuisson, l'effet de grésage escompté a bien lieu (entre 950 et 1150 °C, les retraits de cuisson passent de 3,8 à 12,7 % et les porosités chutent de 20,4 à 0,8 %).

**Ces retraits très élevés et le palier de cuisson très étroit sont défavorables à la fabrication de tuiles, carreaux et même briques apparentes.**

#### **7.4. MELANGE N° 0674-25 : AJOUT DE 20 % DE FELDSPATH DE MADAGASCAR A7 AU MELANGE 674-7**

Les essais de cuisson montrent, par rapport au mélange précédent, que si les retraits ont diminué (1,8 à 3,8 %), les porosités restent élevées (19,5 à 14,5 %).

**Ce mélange ne présente pas d'intérêt pour la fabrication de produits nécessitant une faible porosité (tuiles, carreaux).**

#### **7.5. MELANGES N° 0674-26 ET 27 : ARGILES DE SAVANNAH ET DES AVIRONS + POUZZOLANES DE SAINT-PIERRE**

0674-26 : Argiles de Savannah (55 %) et des Avirons (25 %) + pouzzolanes (20 %)

0674-27 : Argiles de Savannah (50 %) et des Avirons (10 %) + pouzzolanes (40 %)

Les pouzzolanes (tufs pyroclastiques de Saint-Pierre) ont été préalablement broyés à 0,5 mm (comme pour les essais brgm).

Ces tests proches de la série n° 9 du brgm ne permettent pas d'obtenir des produits à faible porosité (elle reste supérieure à 10 %, même après cuisson à 1100 °C).

**L'ajout de 20 à 40 % de pouzzolanes joue un rôle prépondérant de dégraissant et seulement un rôle secondaire de fondant. Il ne permet pas d'envisager la fabrication de tuiles et carreaux à faible porosité.**

## 8. Conclusions et perspectives

Les résultats des essais d'extrusion et de cuisson réalisés dans les laboratoires du BRGM et du CTTB montrent que **la fabrication industrielle de briques creuses destinées à être enduites est possible par mélange d'argile de Savannah (80 %) et d'argile de Madagascar A3 et probablement A2 (20 %).**

Ces deux argiles présentent des caractéristiques très voisines, mais l'argile A2 présente l'avantage de se situer près de Moramanga, à une distance moindre du port de Toamasina (Tamatave), par rapport à l'argile A3 située près d'Antananarivo.

Une telle production est aussi envisageable en remplaçant l'argile de Madagascar par de la pouzzolane (20 %), si l'on accepte un aspect plus grossier des tessons (arrachements à l'extrusion).

Si l'argile de Savannah n'était pas exploitable, un mélange à base de tuf de Saint-Pierre (60 %), argiles des Aviron (20 %) et de Madagascar (20 %) pourrait être envisagé avec les inconvénients suivants : extrusion difficile et palier de cuisson étroit.

Pour ces quatre mélanges, une cuisson vers 900 à 950 °C est à envisager.

**En revanche, l'obtention de produits à faible porosité (briques apparentes, tuiles, carreaux) selon un processus industriel de fabrication utilisant l'extrusion s'avérera très difficile à mettre en oeuvre, si l'on souhaite que ces produits soient conformes aux spécifications exigées dans le secteur du bâtiment (stabilité dimensionnelle et de la porosité, en particulier).**

Seul, le mélange de 70 % d'argile des Aviron et de 30 % de feldspath de Madagascar a permis d'obtenir des porosités correctes pour une production de carreaux de terre cuite mais avec les inconvénients suivants : cuisson à 1150 °C et très court palier de cuisson.

Compte tenu de ces résultats, et dans la perspective du développement d'une filière de fabrication industrielle de produits de terre cuite à La Réunion, **il apparaît opportun d'envisager uniquement, au moins en un premier temps, la création d'une unité de fabrication de briques creuses.** Il sera toujours possible, par la suite, si cette unité s'avère rentable, d'étudier la possibilité de lui adjoindre une unité de fabrication de carreaux ou de tuiles.

Dans ce but, il sera nécessaire d'examiner rapidement les possibilités d'ouvrir une carrière dans une partie du secteur de Savannah, objet de nombreux enjeux, et eu égard aux données environnementales. Sur cet espace réservé à l'exploitation des argiles, il conviendrait d'interdire la construction de bâtiments.

Afin d'étudier l'intérêt économique d'une telle implantation à La Réunion, nous proposons de réaliser, dans une étape suivante, une étude de préféabilité comprenant les démarches suivantes :

- **estimation du marché potentiel des briques creuses de terre cuite à La Réunion** : enquête concernant la situation actuelle du marché des agglomérés en béton, prévisions d'évolution au cours des prochaines années, perspectives d'exportation vers les pays voisins, prix de vente ;

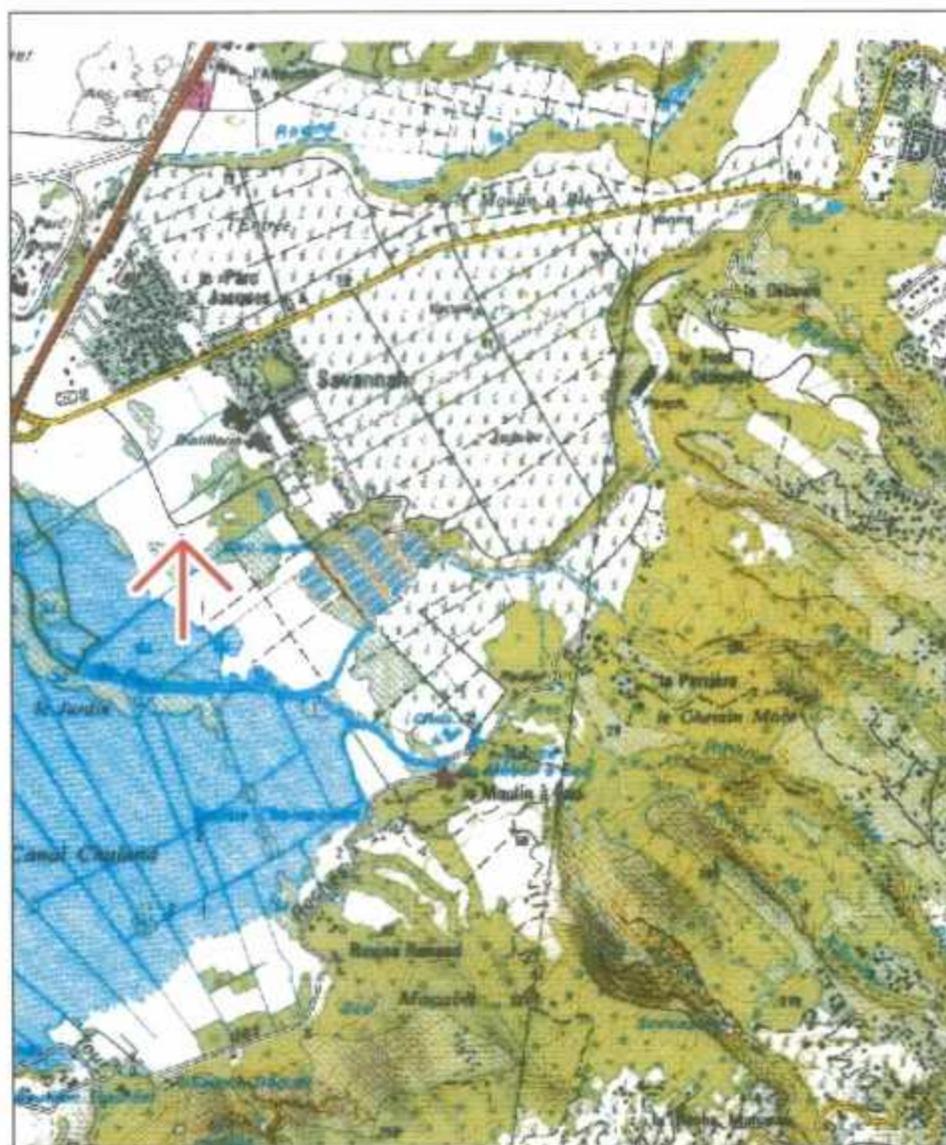
- **étude préliminaire du gisement de Savannah** : si le gisement de Savannah est accessible à l'exploitation, quelques sondages de reconnaissance seront indispensables pour vérifier son volume et son homogénéité ;
- **définition des modalités d'importation des argiles de Madagascar** : mode de transport, coût à la tonne, déchargement et stockage à La Réunion ;
- **définition d'un projet industriel** : installation de traitement (capacité, type de matériel, montant des investissements), personnel, énergie,...
- **simulation financière** : calcul des coûts de production et de la rentabilité du projet.

# **ANNEXES**

## **Annexe 1 : Cartes de localisation et photographies des sites d'échantillonnage**

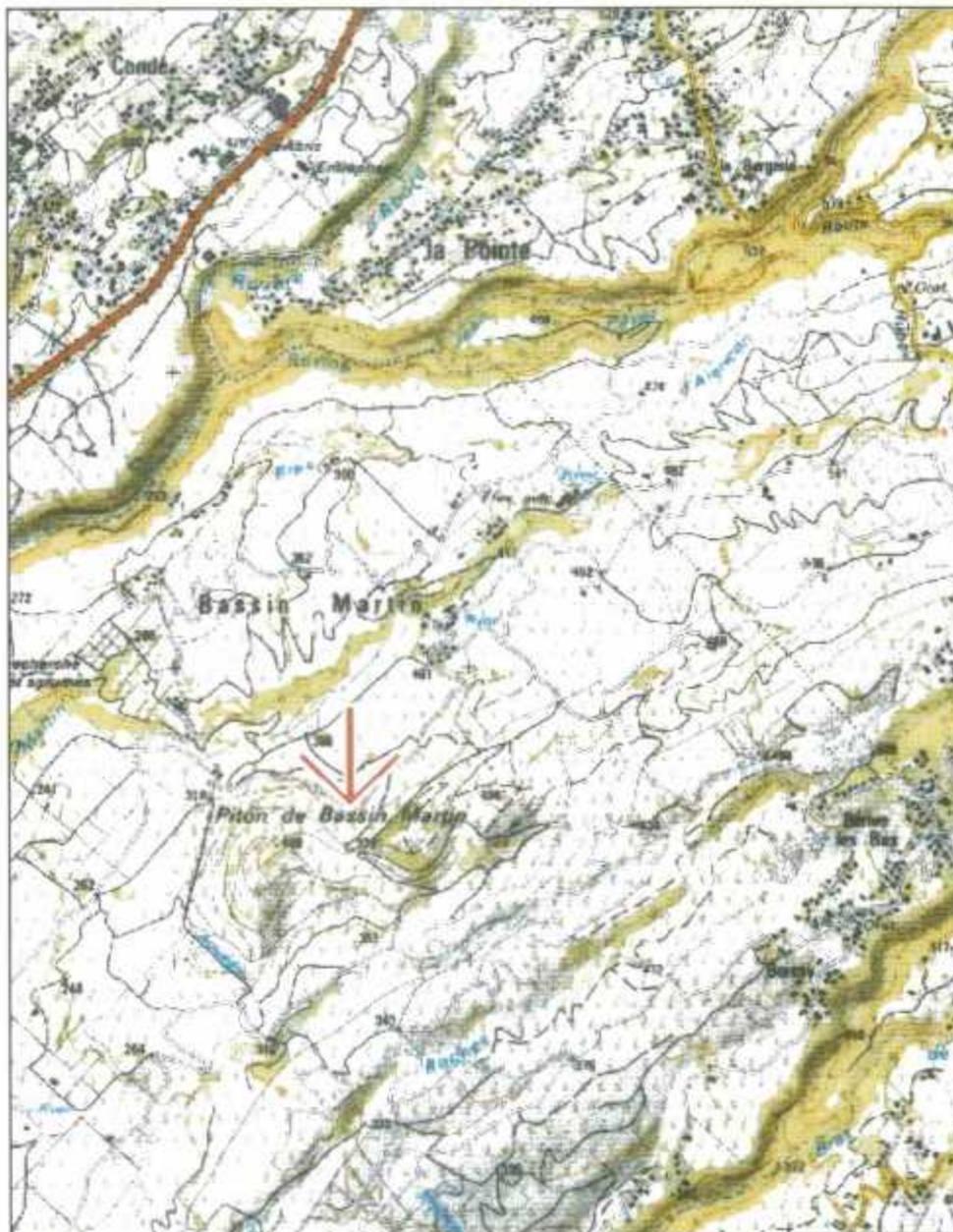
**Annexe 1.1 : Localisation des sites d'échantillonnage à La Réunion et Madagascar**

## Gîte d'argile de Savannah - St Paul



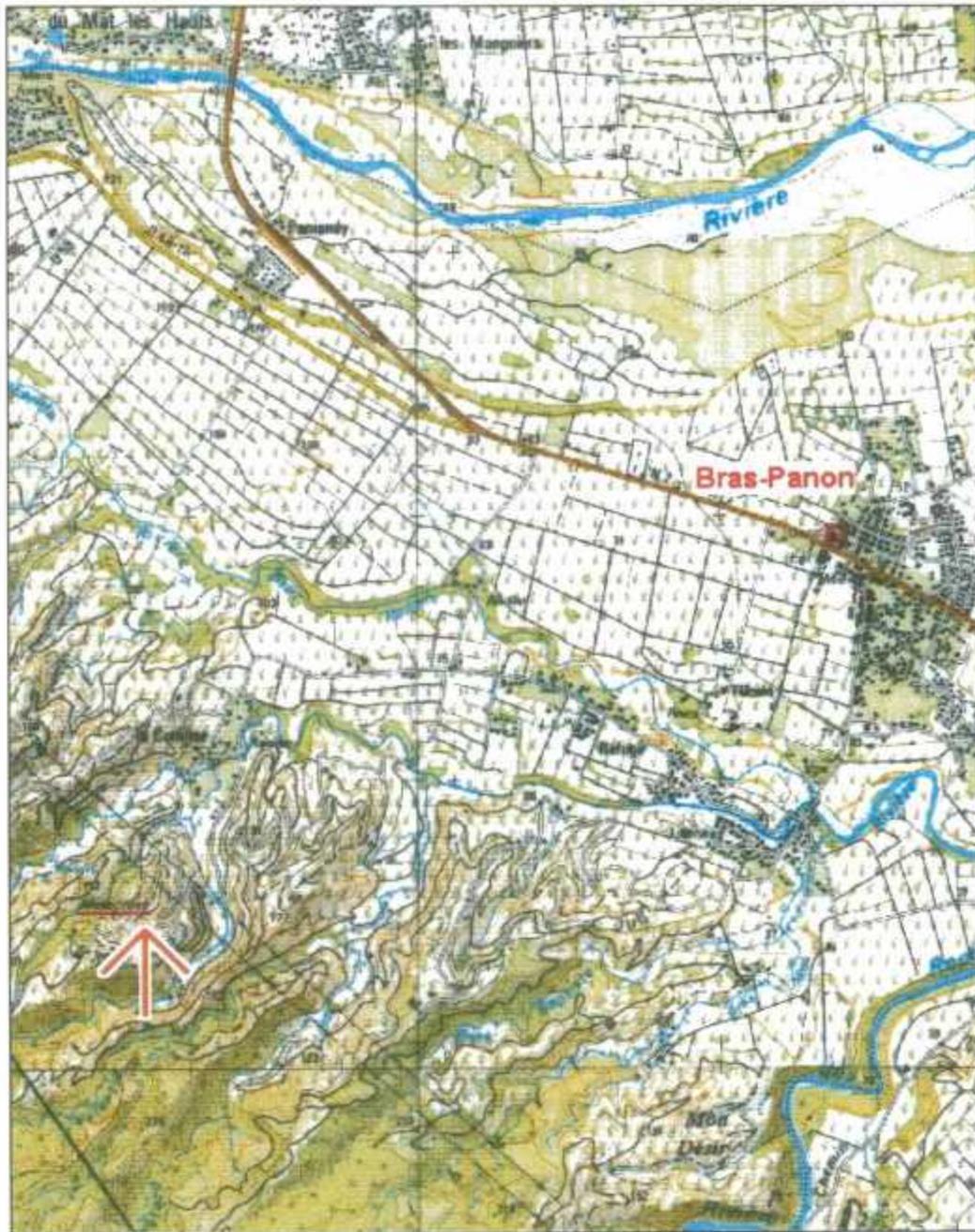
1 km

## Gîte d'argile de Bassin Martin - St Pierre



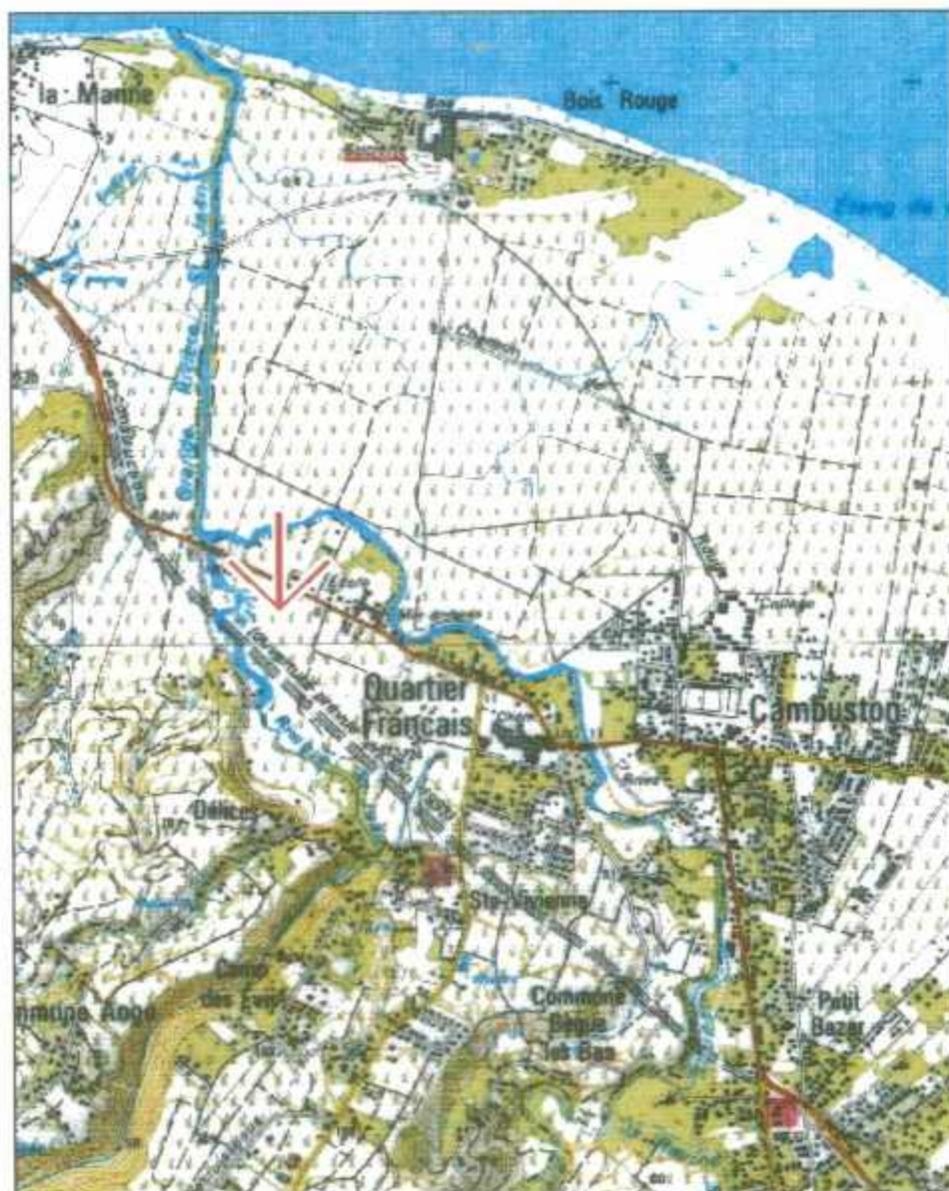
1 km

## Gite d'argile de La Caroline - Bras-Panon



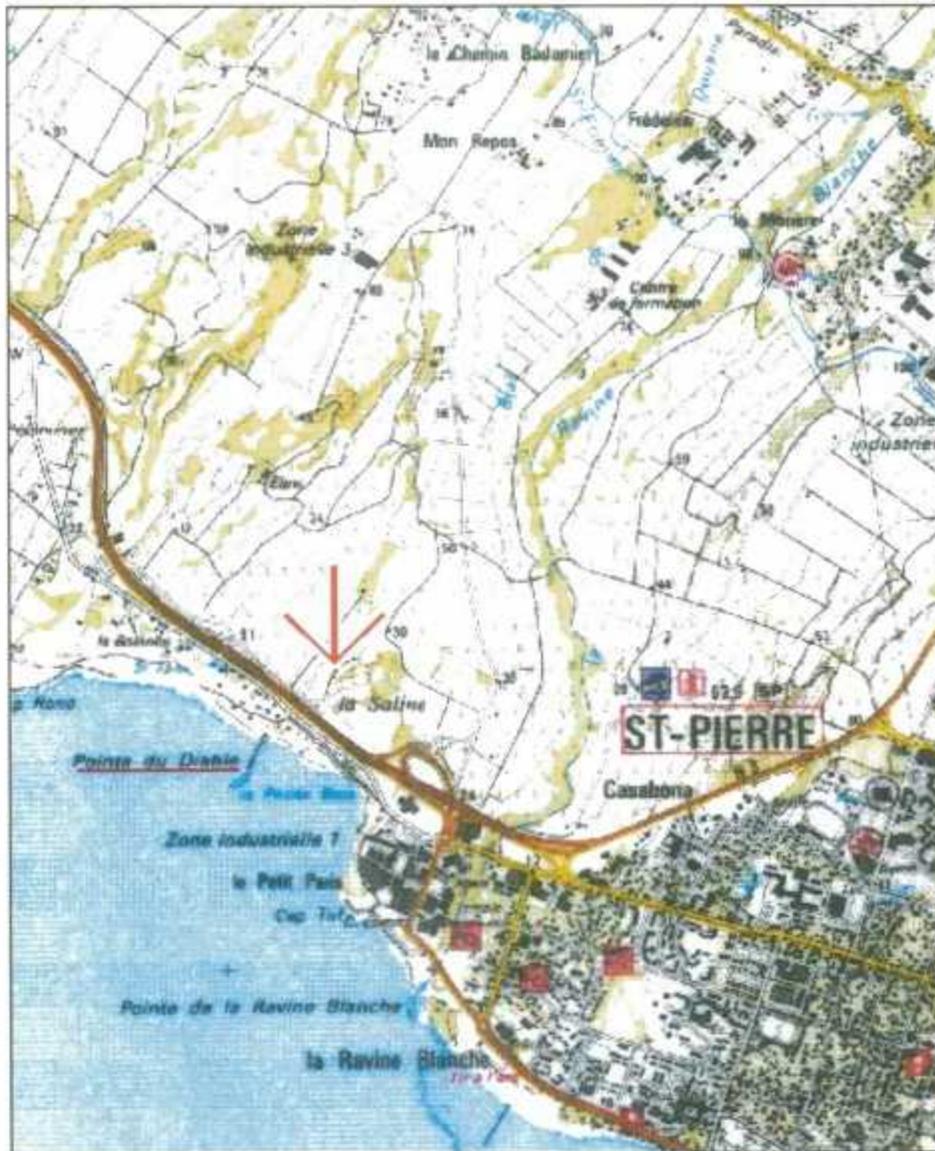
1 km

## Gite d'argile de Quartier Français - Ste Suzanne



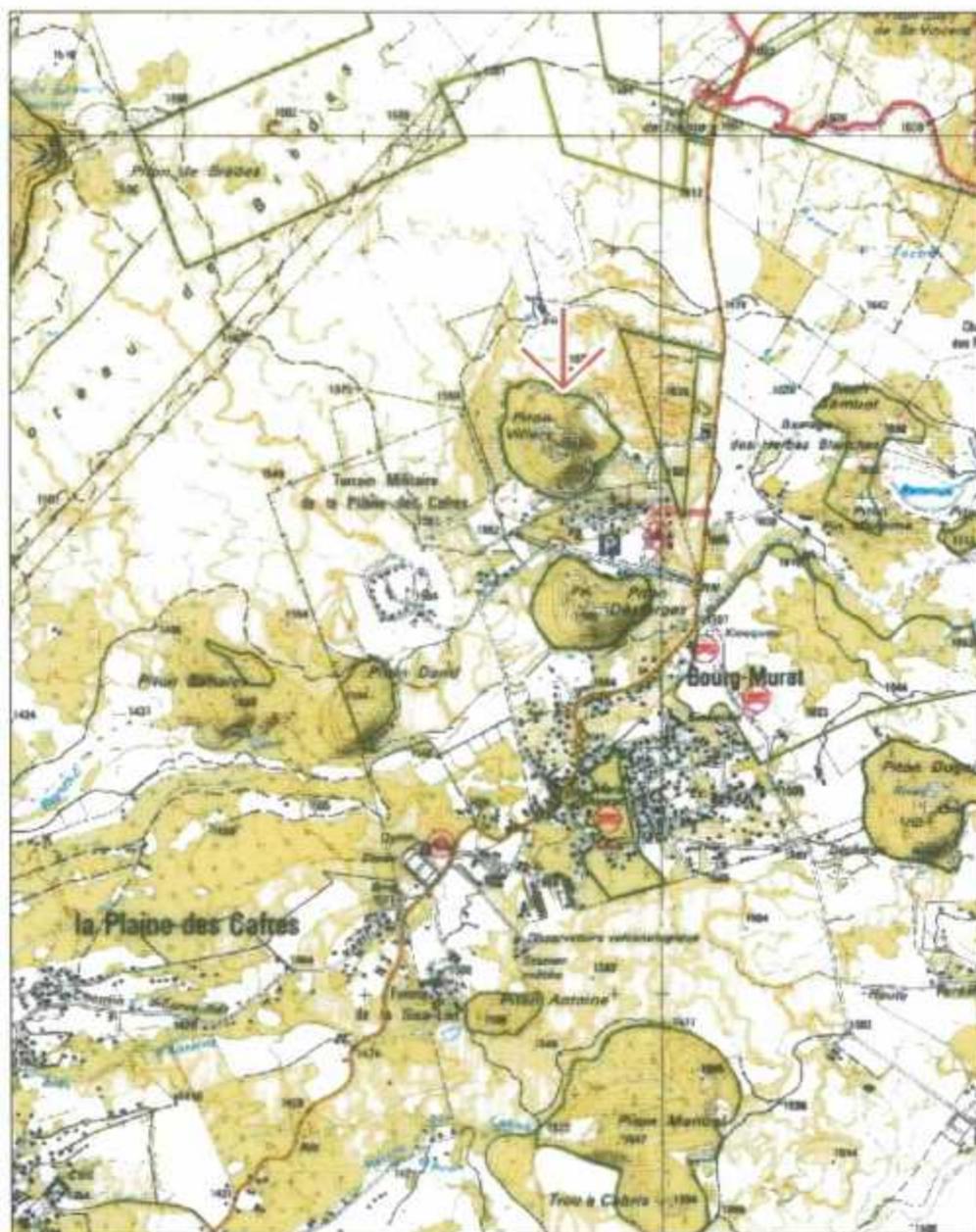
1 km

## Carrière de tuf de La Saline - St Pierre



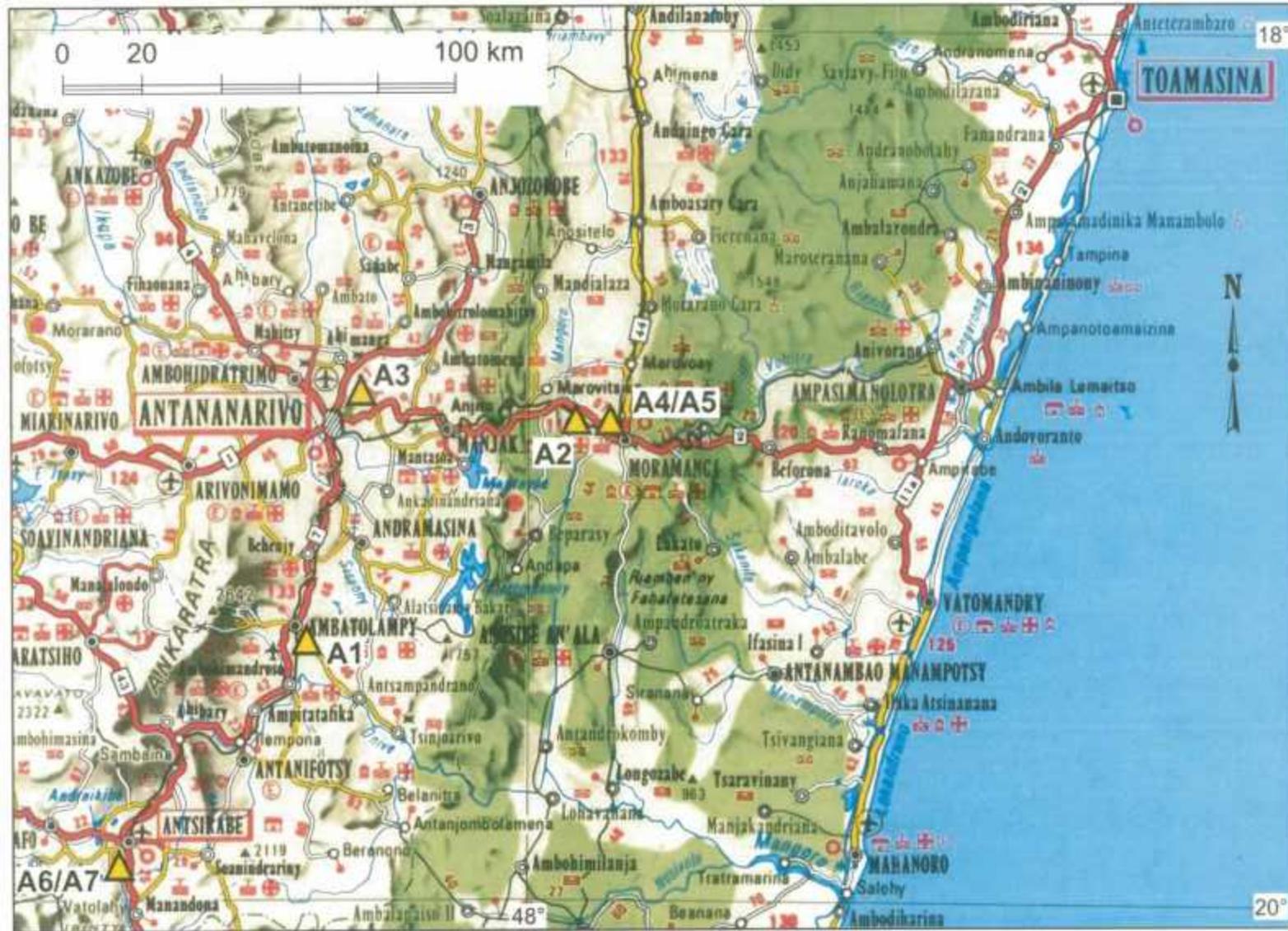
1 km

## Carrière de scories rouges de Piton Villers - Le Tampon



1 km

## Matériaux de Madagascar – Localisation des points de prélèvement



**Annexe 1.2 : Planches photographiques des sites  
échantillonnés à La Réunion**



**Photographie 1 : Argile d'altération de Piton Rouge (commune des Aïrons) – Front de taille d'une ancienne carrière**



**Photographie 2 : Argile d'altération de Bassin Martin (commune de Saint-Pierre) – Talus de route**



**Photographie 3 : Argile d'altération de La Caroline (commune de Bras Panon) - Talus piste de moto-cross**



**Photographie 4 : Argile alluviale de Quartier Français (commune de Ste-Suzanne) - Tranchée de viabilisation**



Photographies 5 et 6 : Vestiges des bâtiments de l'ancienne distillerie de Savannah (commune de St-Paul)



**Photographies 7 et 8 : Site de Savannah (commune de St-Paul) au sud-ouest de la distillerie, transformé en décharge sauvage malgré la présence d'une zone classée en Espace Naturel Sensible**



**Photographie 9 : Site de Savannah (commune de St-Paul) – Zone alluviale plate recelant des argiles sableuses**



**Photographie 10 : Site de Savannah (commune de Saint-Paul) – Prélèvement au tracto-pelle d'un échantillon d'argile alluviale sous la nappe phréatique**



Photographie 11 : Tufs pyroclastiques de La Saline (commune de Saint-Pierre) –  
Vue du front de taille de la carrière exploitée par HOLCIM



Photographie 12 : Tufs pyroclastiques de La Saline (commune de Saint-Pierre) –  
Extraction du matériau à la pelle mécanique



**Photographie 13 : Pouzzolanes de Piton Villers (commune du Tampon) - Vue partielle du front de taille de la carrière exploitée par la SBTPL**



**Photographie 14 : Pouzzolanes de Piton Villers (commune du Tampon) - Installation de concassage-criblage**

**Annexe 2 :  
Analyses minéralogiques et chimiques réalisées  
par le brgm en 2003**

**Annexe 2.1 : Analyses minéralogiques par diffractométrie de rayons X**

**RAPPORT D'ESSAIS 03-6-015-A**

**Etude minéralogique par diffractométrie des rayons X**

<p><b>V/Réf. :</b></p> <p><b>Informations sur le(s) échantillon(s) :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Date de réception : 26/09/2003</li> <li>- Nombre: 9</li> <li>- Nature : Solides</li> <li>- Auteur prélèvement: Patrick LE BERRE</li> </ul>	<p><b>A l'attention de :</b> HAAS Hubert</p> <p>ANA/CMI</p> <p>5, rue Sainte-Anne B.P. 906</p> <p>97478 SAINT DENIS CEDEX France</p> <p><b>Télécopie n°</b></p>
--	---

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Laboratoire de minéralogie appliquée	P.JEZEQUEL

**Résultats validés par**

**Frédéric DURE**  
**Véronique PEDROLETTI**

**qualifié(es) pour l'essai**

**Visé le 03-NOV-2003 par**

**David DESSANDIER**  
**Responsable de l'Unité Caractérisation Minérale**

**Copie à : Patrick LE BERRE**

**Nbr pages : 3**

*+1 Annexe*

**Note importante :**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Sauf demande expresse du donneur d'ordre, les échantillons sont détruits 1 an après la date d'envoi de ce rapport.

---

① **Nature de l'essai :**

La fraction cristallisée des échantillons est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de leurs diagrammes de poudre.

La fraction phylliteuse des échantillons est déterminée par diffractométrie des rayons X à partir de lames orientées normales, glycolées pendant 12 heures en tension de vapeur puis chauffées à 490°C pendant 4 heures. Les proportions sont estimées par surfaces de pics.

---

② **Appareillage et conditions expérimentales :**

Appareillage : Diffractomètre SIEMENS D5000 automatisé

Conditions expérimentales :

- Balayage de 4 à 84°2 $\theta$  pour les poudres et de 2 à 36°2 $\theta$  pour les lames orientées
- Vitesse de balayage de 0,02°2 $\theta$ /seconde
- Echantillon tournant pour les poudres et fixe pour les argiles

Traitement des diagrammes : Logiciel Diffrac AT

---

③ **Résultats d'analyse**

Echantillon SAVANNA

- quartz en traces à faible
- plagioclase faible à présent
- diopside faible à présent
- magnésite probable en traces
- hématite probable en traces
- magnétite probable en traces
- zéolite type analcime probable en traces
- phase amorphe aux rayons X faible
- phase phylliteuse présente et représentée par (sur base 100) :
  - smectite ~100%
  - kaolinite en traces
  - talc probable en traces

Echantillon QUARTIER FRANÇAIS

- hématite en traces à faible
- plagioclase faible à présent
- afghanite probable en traces
- vesuvianite probable en traces à faible
- diopside en traces
- gibbsite en traces
- tridymite possible en traces
- phase amorphe aux rayons X présente

Echantillon BRAS PANON

- gibbsite faible à présente
- hématite en traces
- goethite en traces à faible
- plagioclase en traces
- magnésite probable en traces
- chlorite en traces
- kaolinite en traces
- phase amorphe aux rayons X probable

Echantillon A1

- quartz en traces à faible
- gibbsite faible à présente
- magnétite en traces
- goethite probable en traces
- kaolinite présente à abondante

Echantillon A2

- quartz en traces à faible
- gibbsite faible
- goethite probable en traces à faible
- cristobalite possible en traces
- diopside probable en traces
- amphibole type homblende en traces
- gypse en traces
- orthose faible à présente
- phase phylliteuse faible et représentée par (sur base 100) :
  - kaolinite ~ 97%
  - sépiolite probable ~ 3%

Echantillon A3

- quartz en traces à faible
- microcline en traces
- gibbsite en traces à faible
- cristobalite probable en traces
- diopside en traces
- kaolinite présente

Echantillon A4

- quartz en traces à faible
- gibbsite faible
- magnétite en traces
- zéolite type analcime possible en traces
- kaolinite présente

---

**④ Observations**

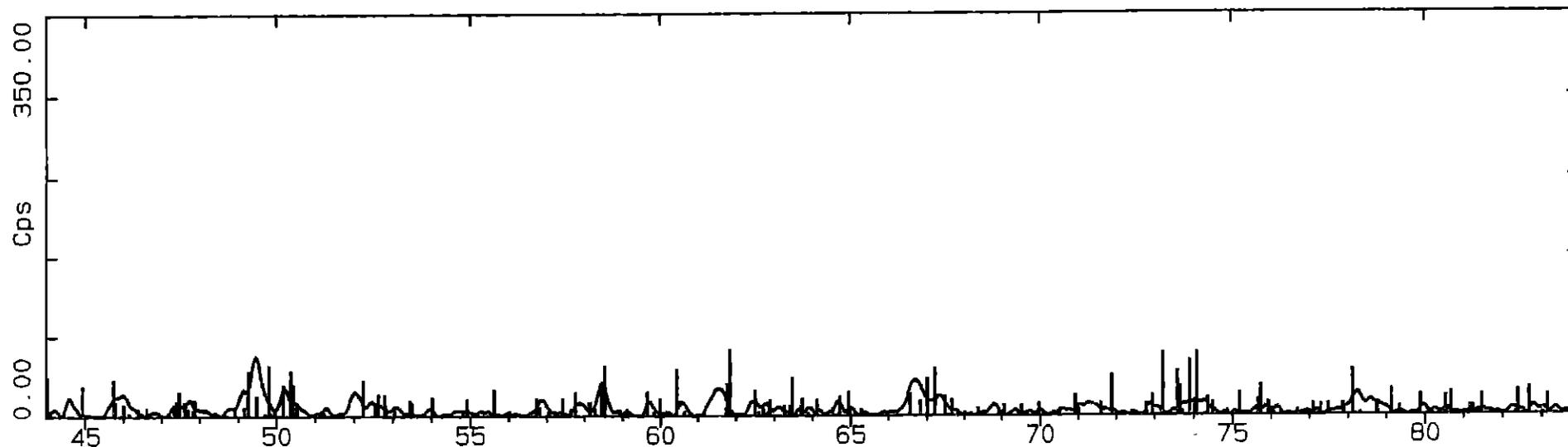
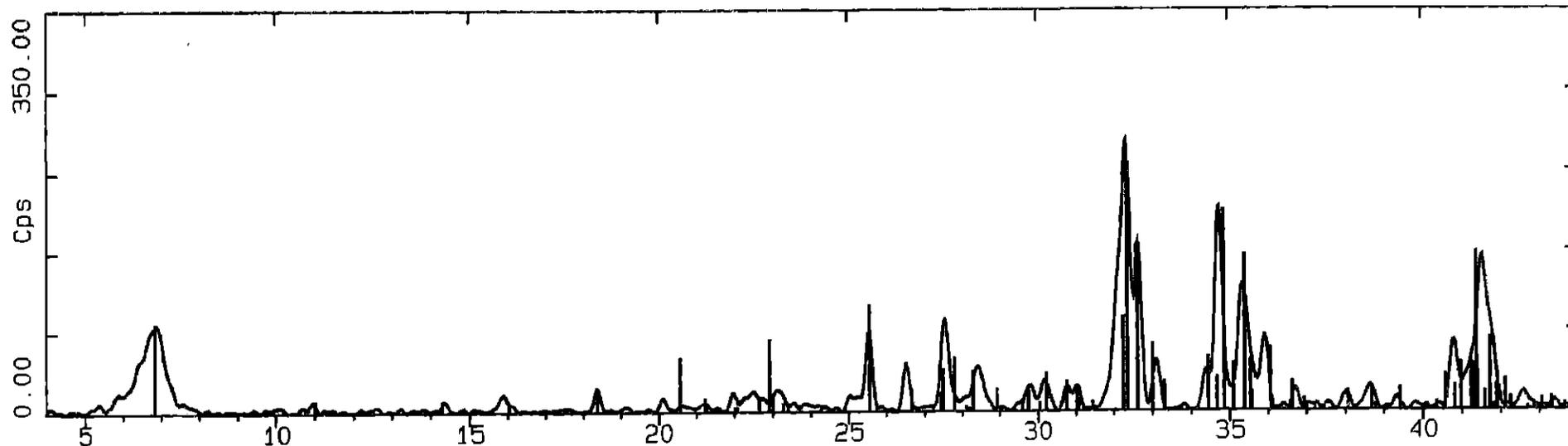
## **ANNEXE**

Pour chaque échantillon :

- Le diffractogramme interprété avec les références internationales J.C.P.D.S.
- Le diagramme brut
- Les mesures effectuées (d en Å et l en cps et sur base 100)
- Le diffractogramme avec les valeurs (en Å) attribuées à chaque pic
- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame normale<sup>1</sup>
- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame glycolée pendant 12 heures en tension de vapeur<sup>1</sup>
- Le diffractogramme obtenu à partir de la lame chauffée à 490°C pendant 4 heures<sup>1</sup>

---

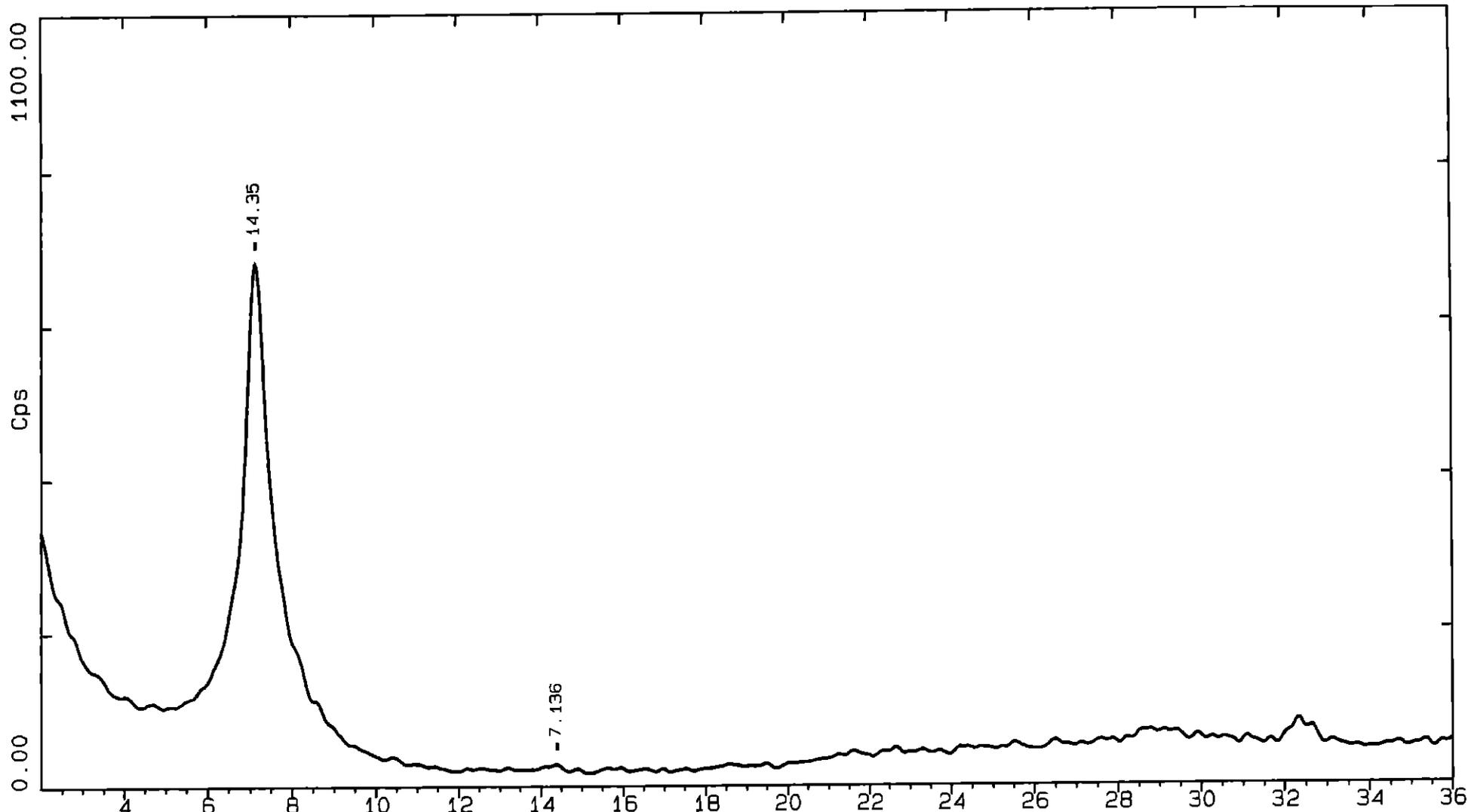
<sup>1</sup> Pour les échantillons SAVANNA et A2



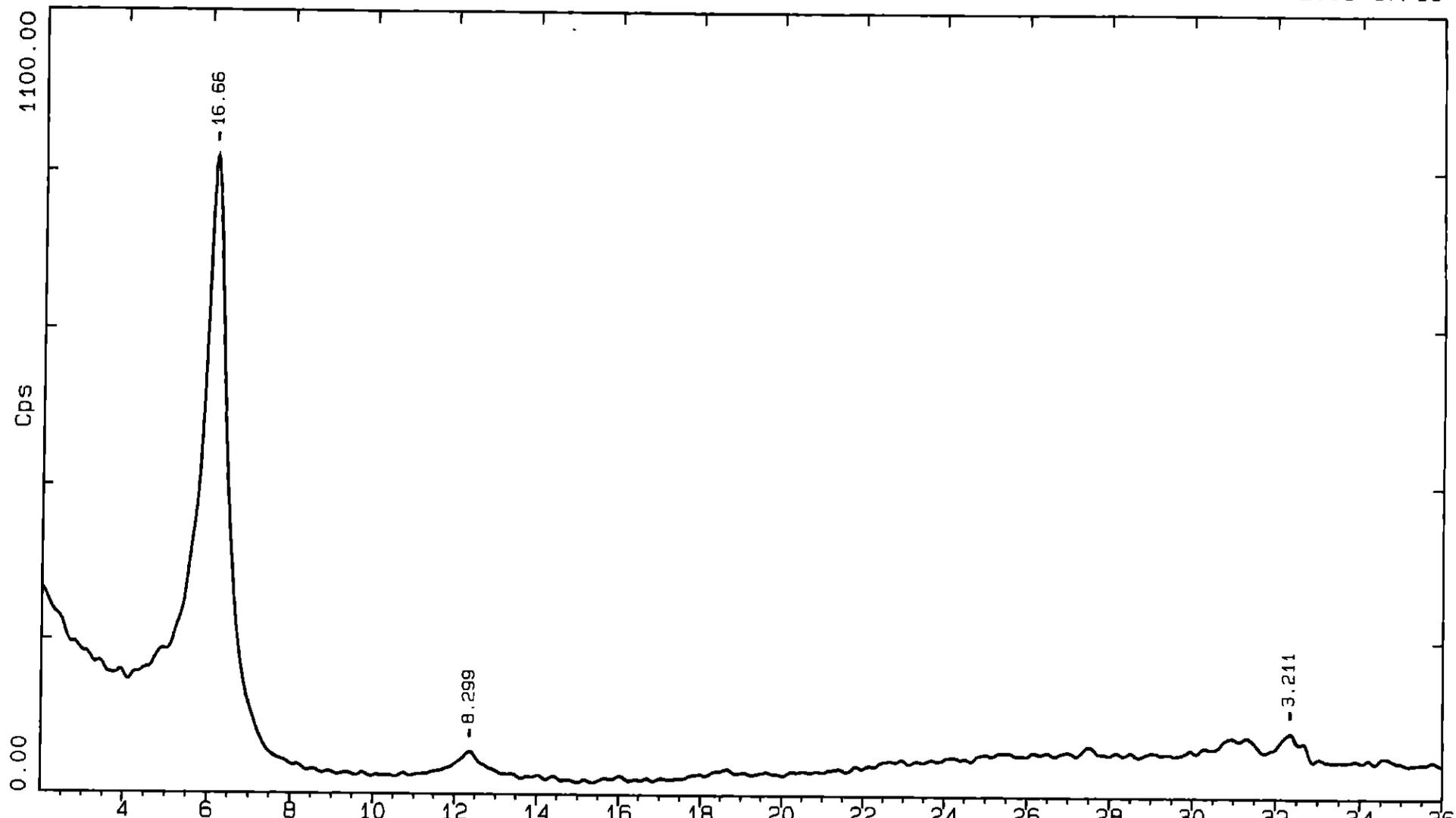
C:\USERDATA\18281.RAW 18281 SAVANA (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao, DX: -.066)  
 20-0548 D (Na,Ca)(Si,Al)4O8 Albite, calcian, ordered (WL: 1.7890Ao)  
 46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
 41-1370 \* Ca(Mg,Al)(Si,Al)2O6 Diopside (WL: 1.7890Ao)  
 13-0135 Ca0.2(Al,Mg)2Si4O10(OH)2.4H2O Montmorillonite-15A (WL: 1.7890Ao)  
 8-0479 I MgCO3 Magnesite, syn (WL: 1.7890Ao)  
 33-0664 \* Fe2O3 Hematite, syn (WL: 1.7890Ao)  
 19-0629 \* FeFe2O4 Magnetite, syn (WL: 1.7890Ao)  
 19-1180 Na(Si2Al)O6.H2O Analcime-0 (WL: 1.7890Ao)  
 29-1493 Mg3Si4O10(OH)2 Talc-2M (WL: 1.7890Ao)  
 6-0221 D Al2Si2O5(OH)4 Kaolinite 1Md (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 29-Oct-2003 17:15



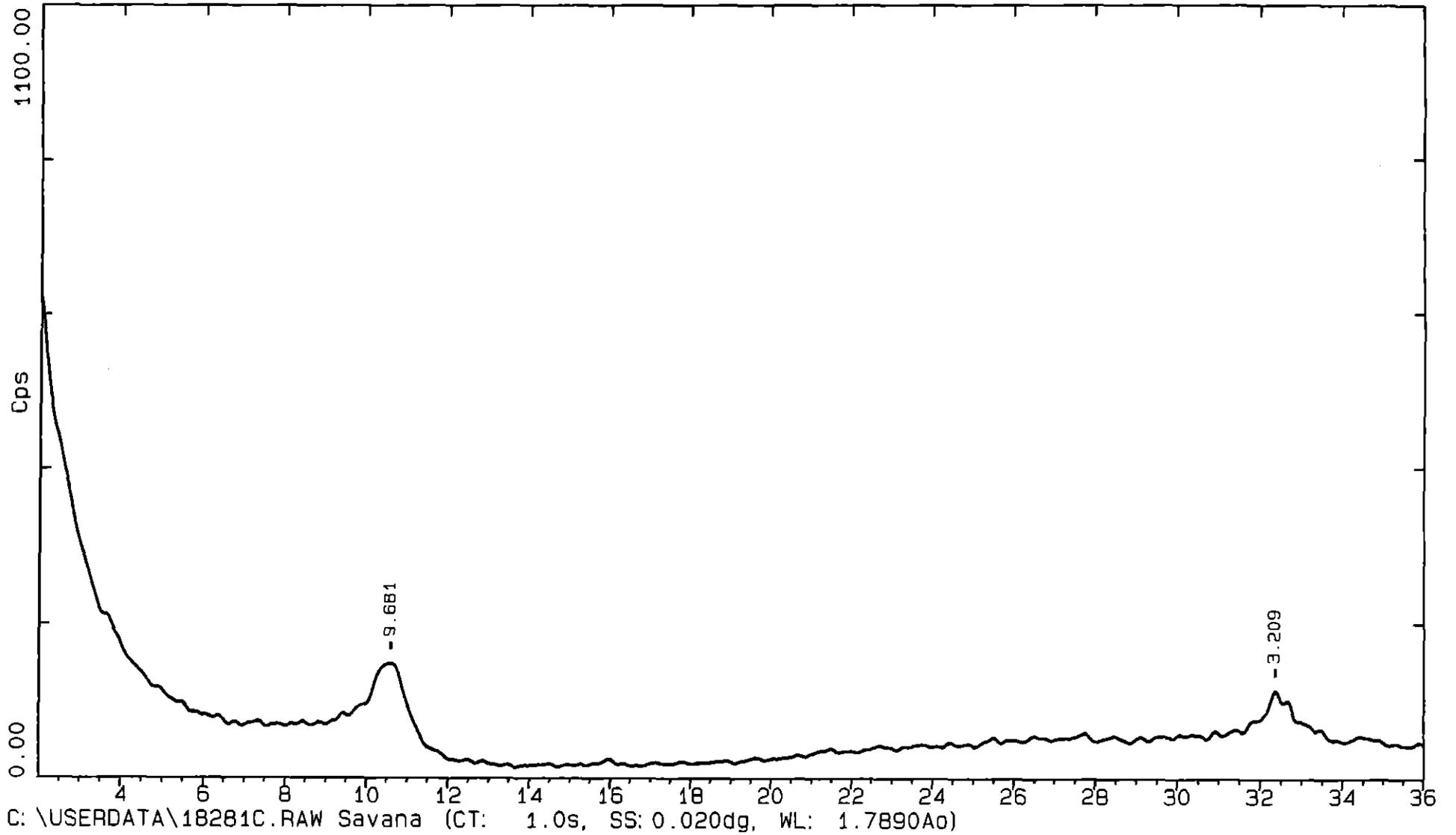
C:\USERDATA\18281N.RAW Savana (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

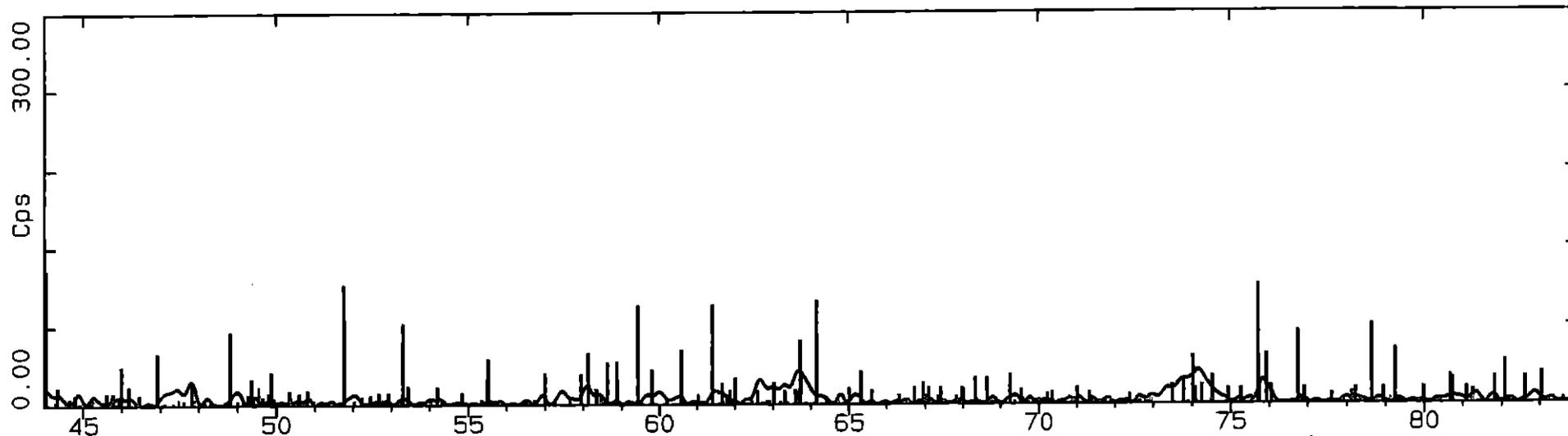
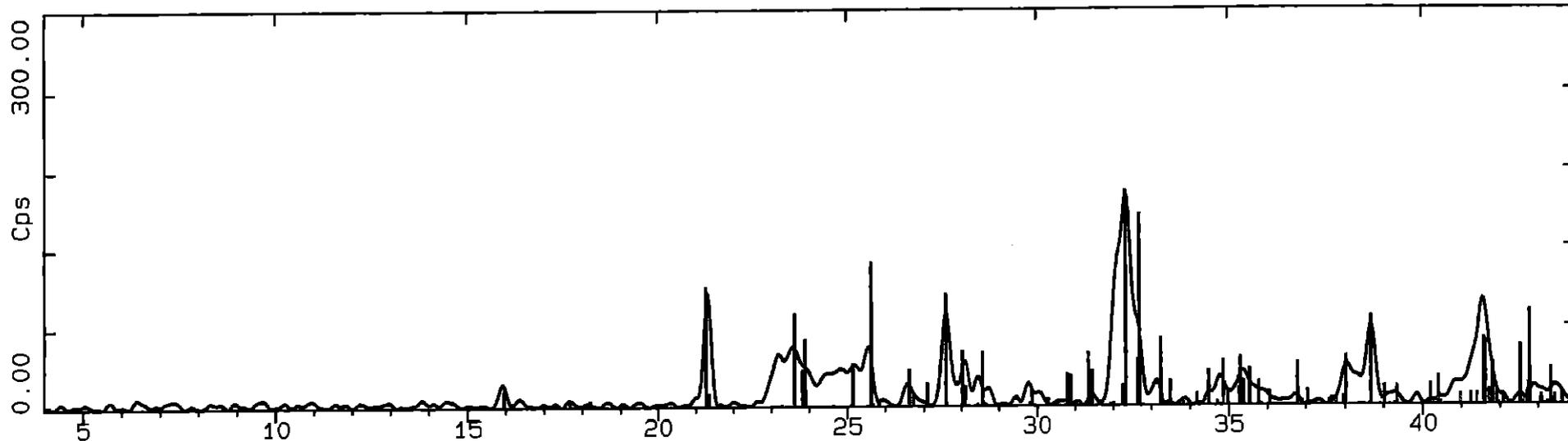


C:\USERDATA\18281G.RAW Savana (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

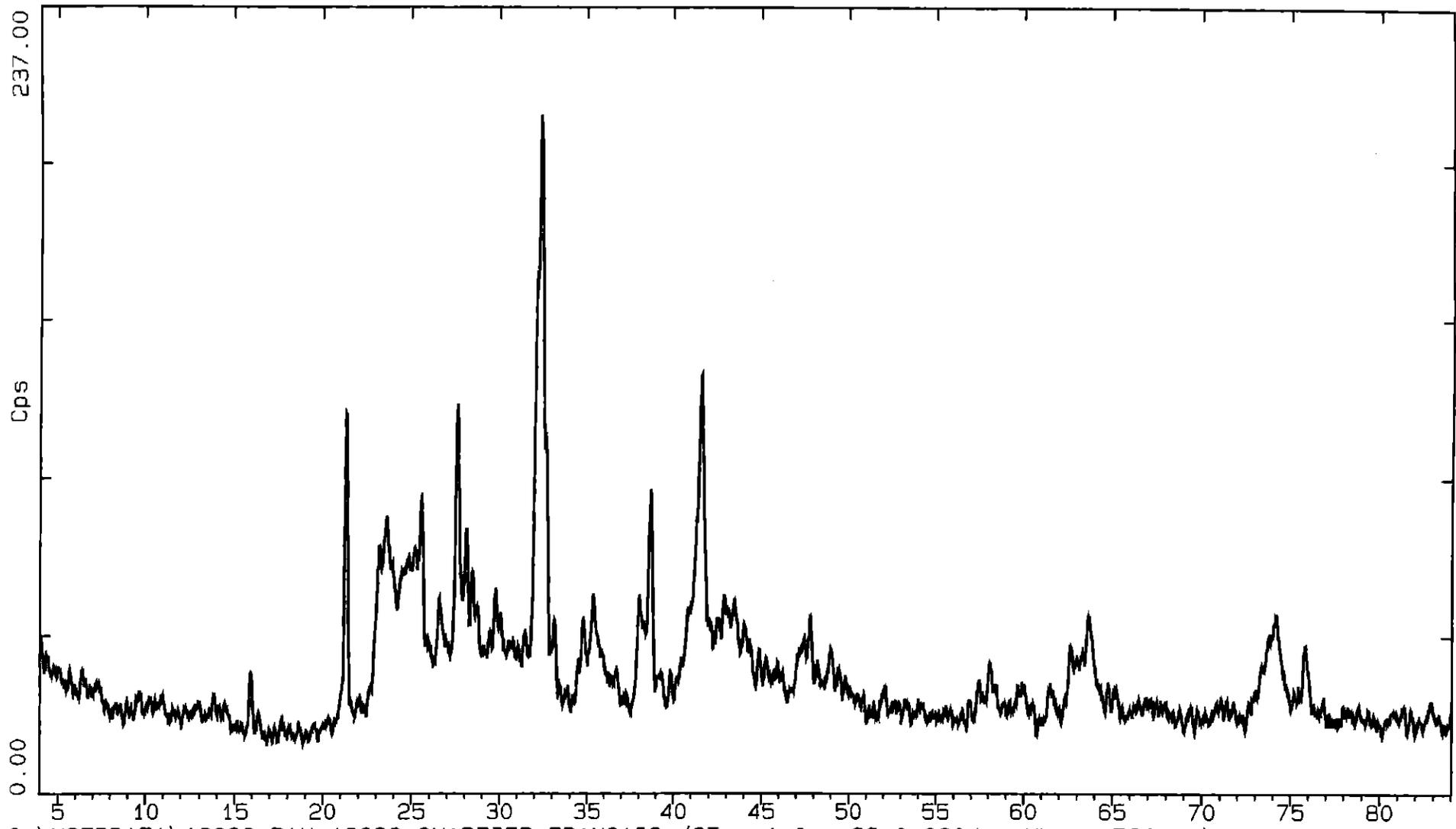
2-Theta - Scale

B R G M 29-Oct-2003 17: 15





C:\USERDATA\18282.RAW 18282 QUARTIER FRANCAIS (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
33-0664 \* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hematite, syn (WL: 1.7890Ao)  
20-0572 D NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> Albite, disordered (WL: 1.7890Ao)  
46-1264 \* (Na, Ca, K)<sub>8</sub>(Si, Al)<sub>12</sub>O<sub>24</sub>(SO<sub>4</sub>, Cl)<sub>3</sub> Afghanite (WL: 1.7890Ao)  
38-0473 I Ca<sub>19</sub>Al<sub>11</sub>Mg<sub>2</sub>Si<sub>18</sub>O<sub>69</sub>(OH)<sub>9</sub> Vesuvianite (WL: 1.7890Ao)  
41-1370 \* Ca(Mg, Al)<sub>2</sub>(Si, Al)<sub>20</sub> Diopside (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)<sub>3</sub> Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
18-1170 I SiO<sub>2</sub> Tridymite-M, syn (WL: 1.7890Ao)



C:\USERDATA\18282.RAW 18282 QUARTIER FRANCAIS (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:34:22

Dump of file: C:\USERDATA\18282.DIF (03-Nov-2003 10:33:32)  
Sample name : 18282 QUARTIER FRANCAIS (03-Oct-2003 17:53:28)  
D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897  
Wavelength 2: 1.79285

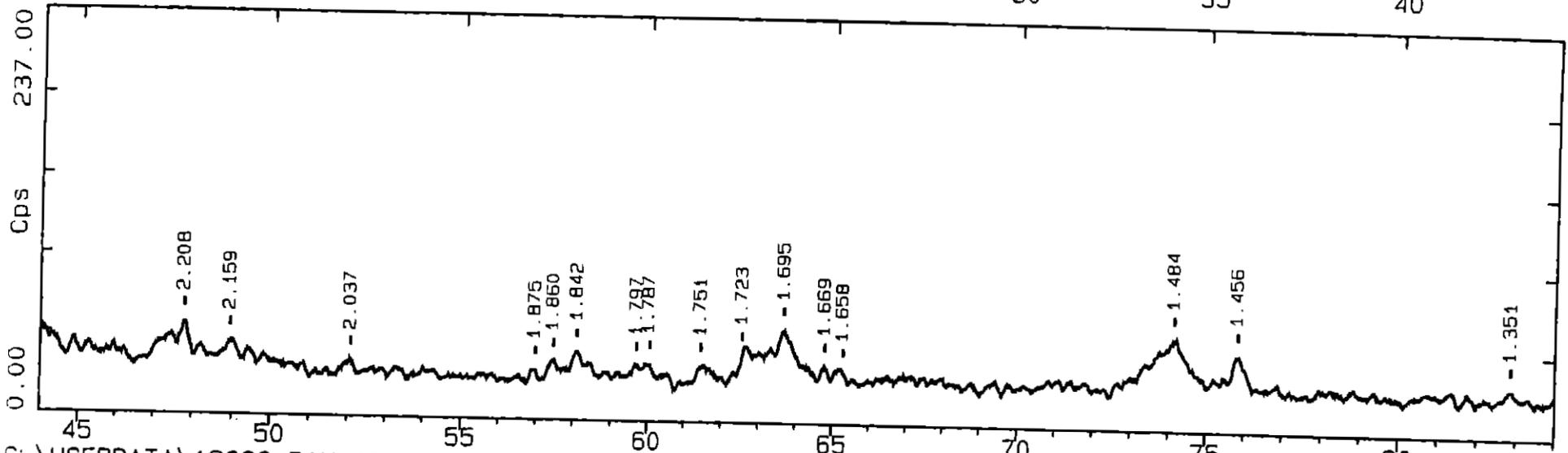
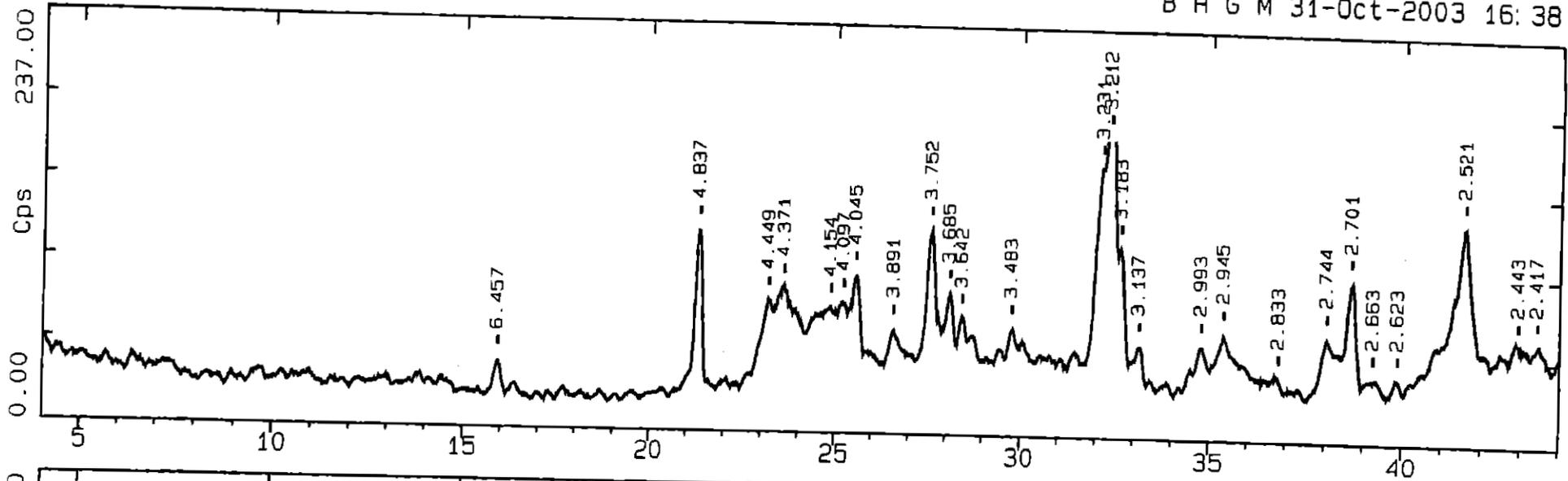
Range # 1  
Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000  
Step size : 0.020 Time/step : 1.0  
Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	5.675	18.0679	36.03	17.63
2	6.373	16.0906	36.29	17.76
3	7.281	14.0873	32.92	16.11
4	9.724	10.5534	29.25	14.31
5	15.925	6.4572	36.52	17.87
6	17.682	5.8198	21.66	10.60
7	21.314	4.8370	114.09	55.83
8	23.197	4.4490	72.69	35.57
9	23.546	4.3839	80.80	39.54
10	24.803	4.1651	70.05	34.27
11	25.152	4.1082	72.76	35.60
12	25.548	4.0454	89.15	43.62
13	26.583	3.8907	58.82	28.78
14	27.583	3.7522	116.85	57.18
15	28.097	3.6850	79.88	39.09
16	28.503	3.6335	61.71	30.19
17	29.759	3.4834	59.18	28.96
18	31.435	3.3020	47.83	23.40
19	32.342	3.2117	204.37	100.00
20	33.133	3.1371	52.05	25.47
21	34.781	2.9928	52.70	25.79
22	35.366	2.9448	59.98	29.35
23	36.740	2.8383	36.39	17.80
24	38.051	2.7439	59.07	28.91
25	38.678	2.7011	91.39	44.72
26	39.393	2.6540	33.66	16.47
27	39.881	2.6228	35.04	17.15
28	40.789	2.5668	52.61	25.74
29	41.564	2.5210	125.58	61.45
30	42.534	2.4661	51.91	25.40
31	42.883	2.4469	58.28	28.52
32	43.511	2.4133	55.83	27.32
33	44.908	2.3420	41.93	20.52
34	45.257	2.3248	39.77	19.46
35	47.421	2.2245	45.67	22.35
36	47.796	2.2080	52.94	25.90
37	48.258	2.1881	38.19	18.69
38	48.956	2.1588	42.75	20.92
39	52.098	2.0369	30.93	15.13
40	57.403	1.8625	32.67	15.98
41	58.171	1.8401	36.47	17.84
42	60.056	1.7875	31.39	15.36

43	61.452	1.7507	31.93	15.62
44	62.569	1.7225	38.39	18.78
45	63.689	1.6953	53.56	26.21
46	64.803	1.6693	32.27	15.79
47	65.152	1.6613	31.56	15.44
48	68.782	1.5836	24.92	12.19
49	69.340	1.5724	25.35	12.41
50	74.157	1.4836	53.15	26.01
51	75.834	1.4556	44.46	21.76
52	82.883	1.3515	27.38	13.40

2-Theta - Scale

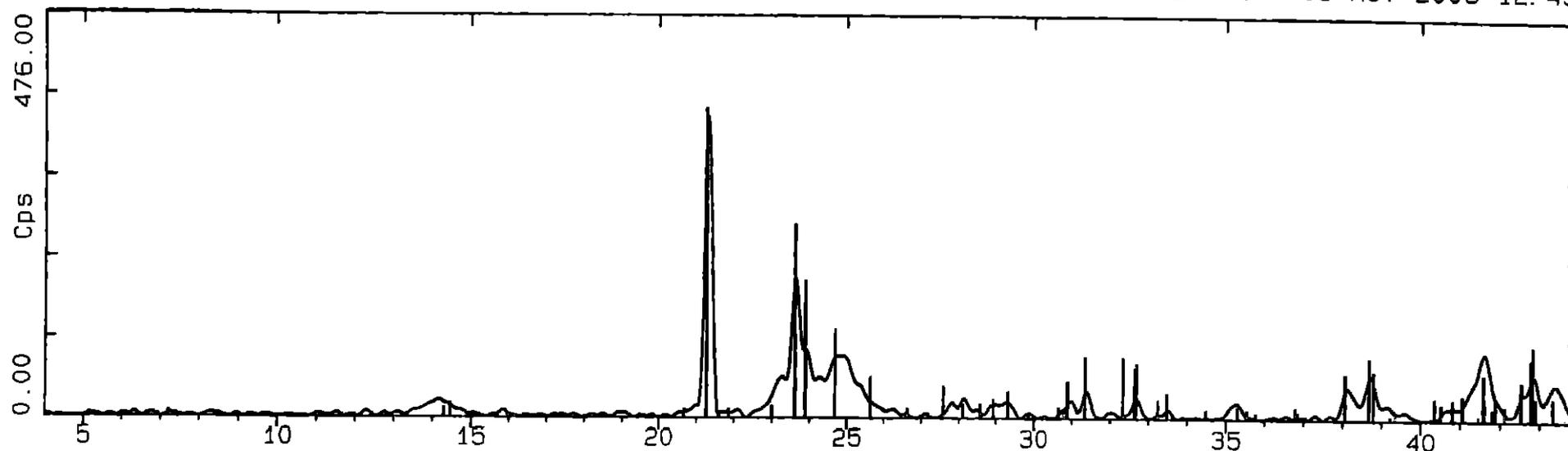
B R G M 31-Oct-2003 16:38



C:\USERDATA\18282.RAW 18282 QUARTIER FRANCAIS (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

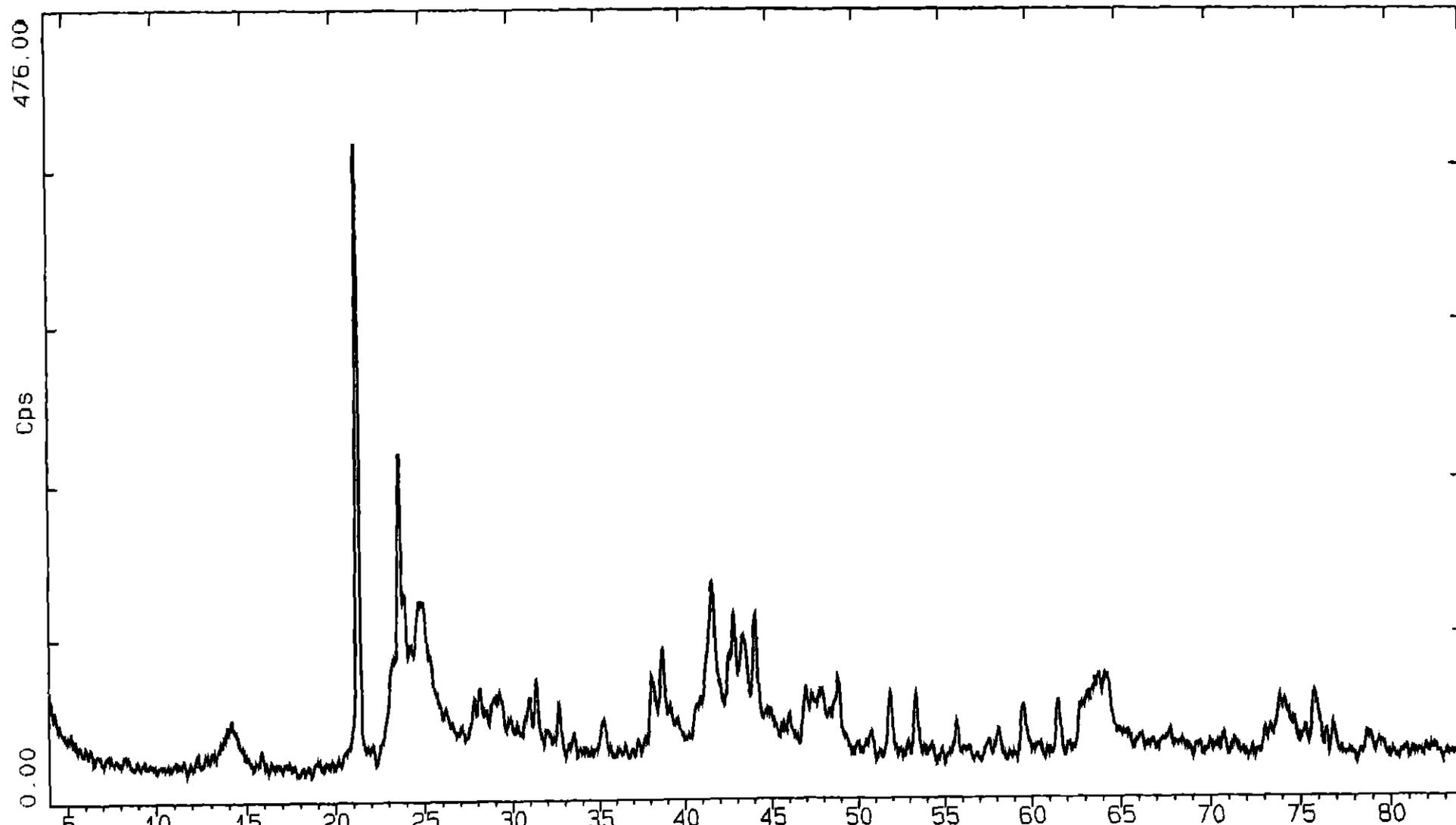
B R G M 03-Nov-2003 12:45



C:\USERDATA\18283.RAW 18283 BRAS PANON (CT: 1.0s, SS:0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
6-0221 D Al<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>5</sub>(OH)<sub>4</sub> Kaolinite 1Md (WL: 1.7890Ao)  
46-1323 I (Mg, Al, Fe)<sub>6</sub>(Si, Al)<sub>4</sub>O<sub>10</sub>(OH)<sub>8</sub> Clinocllore-1MIib-2 (WL: 1.7890Ao)  
33-0664 \* Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Hematite, syn (WL: 1.7890Ao)  
29-0713 I FeO(OH) Goethite (WL: 1.7890Ao)  
20-0572 D NaAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub> Albite, disordered (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)<sub>3</sub> Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
8-0479 I MgCO<sub>3</sub> Magnesite, syn (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 31-Oct-2003 16:39



C:\USERDATA\18283.RAW 18283 BRAS PANON (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:36:20

Dump of file: C:\USERDATA\18283.DIF (03-Nov-2003 10:36:06)

Sample name : 18283 BRAS PANON (03-Oct-2003 19:00:56)

D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

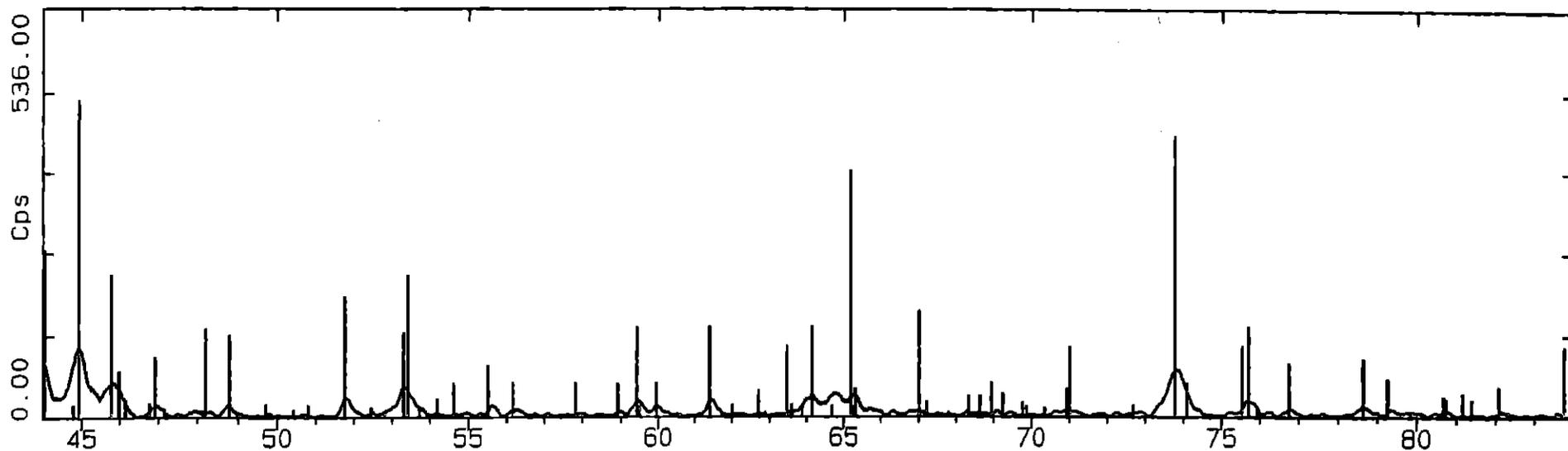
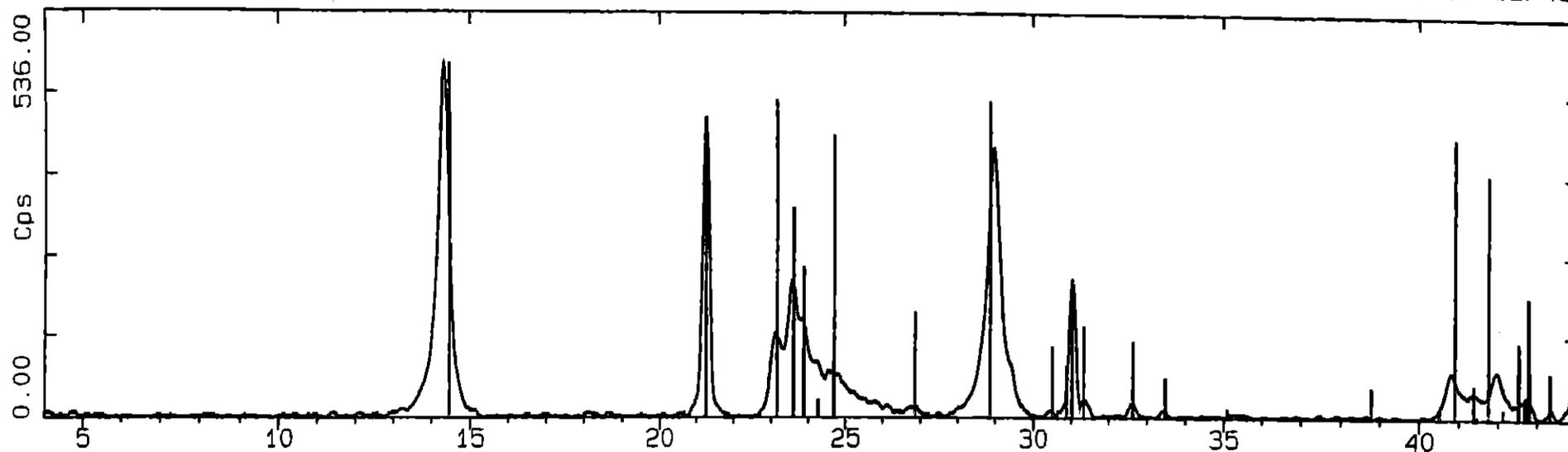
Step size : 0.020 Time/step : 1.0

Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.122	7.2765	45.35	11.43
2	15.867	6.4805	27.95	7.04
3	21.313	4.8372	396.89	100.00
4	23.311	4.4276	83.72	21.09
5	23.641	4.3665	208.34	52.49
6	23.965	4.3084	120.16	30.28
7	24.792	4.1669	116.45	29.34
8	27.735	3.7321	52.34	13.19
9	28.084	3.6866	60.20	15.17
10	28.852	3.5905	56.23	14.17
11	29.271	3.5402	62.02	15.63
12	31.016	3.3455	58.75	14.80
13	31.383	3.3073	70.10	17.66
14	32.686	3.1788	54.55	13.74
15	33.529	3.1011	38.04	9.59
16	35.273	2.9523	46.05	11.60
17	38.129	2.7385	70.80	17.84
18	38.721	2.6982	87.52	22.05
19	41.608	2.5185	128.86	32.47
20	42.847	2.4489	108.66	27.38
21	43.377	2.4204	95.08	23.96
22	44.072	2.3841	108.34	27.30
23	46.094	2.2848	44.94	11.32
24	46.968	2.2447	63.98	16.12
25	47.839	2.2061	61.55	15.51
26	48.871	2.1623	69.12	17.42
27	50.771	2.0865	37.92	9.55
28	51.874	2.0451	61.55	15.51
29	53.350	1.9925	60.33	15.20
30	55.714	1.9143	43.68	11.01
31	57.613	1.8564	31.13	7.84
32	57.962	1.8461	33.28	8.39
33	59.521	1.8020	53.34	13.44
34	61.483	1.7499	55.86	14.07
35	62.639	1.7208	45.62	11.49
36	63.686	1.6954	66.63	16.79
37	64.105	1.6855	68.63	17.29
38	67.735	1.6051	39.13	9.86
39	73.878	1.4884	58.56	14.75
40	75.779	1.4565	60.73	15.30
41	76.812	1.4399	42.86	10.80
42	78.764	1.4098	36.09	9.09

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 12: 48

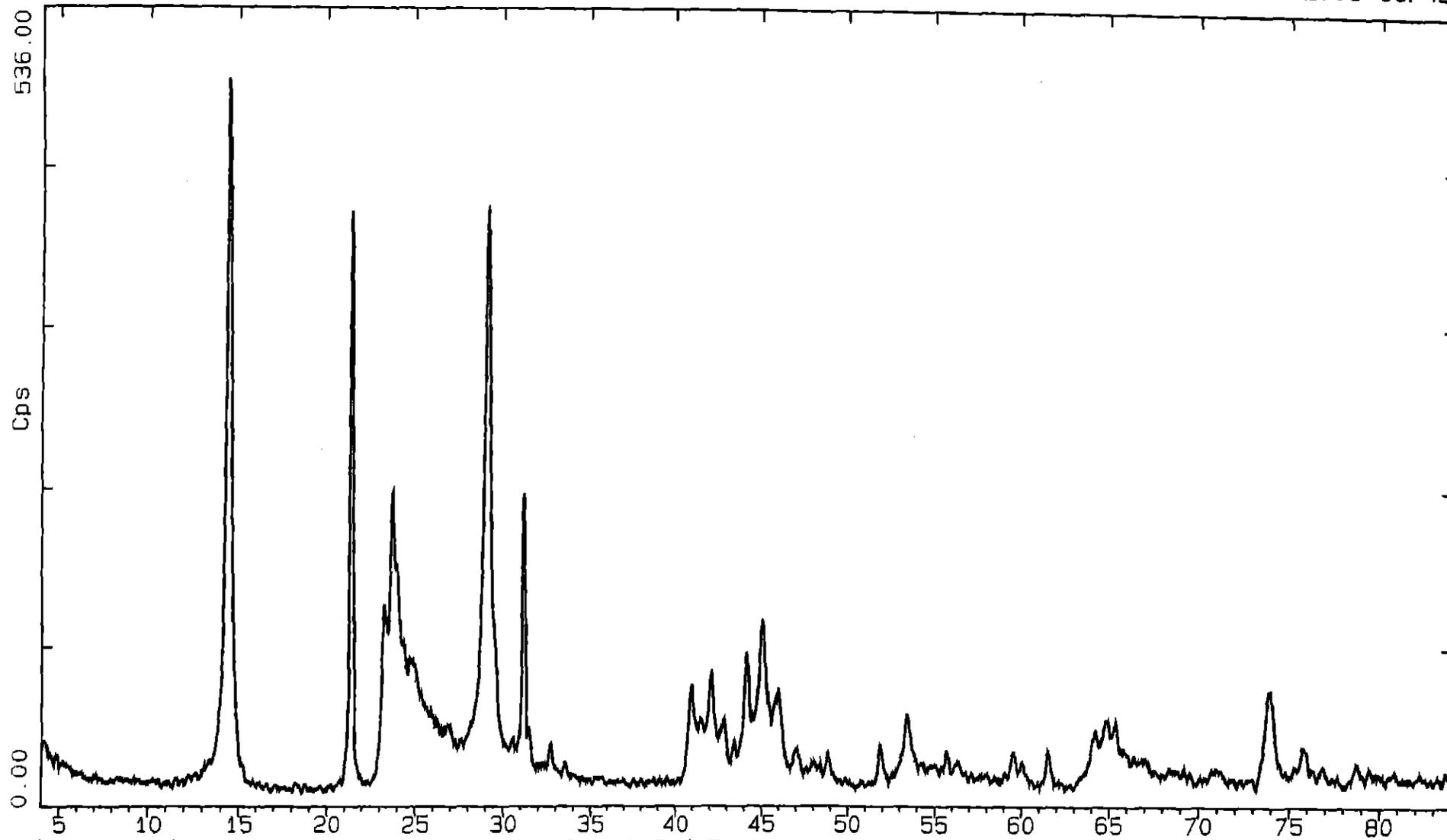


C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

- 46-1045 \* SiO<sub>2</sub> Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)
- 33-0018 I Al(OH)<sub>3</sub> Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)
- 19-0629 \* FeFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Magnetite, syn (WL: 1.7890Ao)
- 29-0713 I FeO(OH) Goethite (WL: 1.7890Ao)
- 3-0052 D Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.2SiO<sub>2</sub>.2H<sub>2</sub>O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 31-Oct-2003 16:42



C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS:0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:39:06

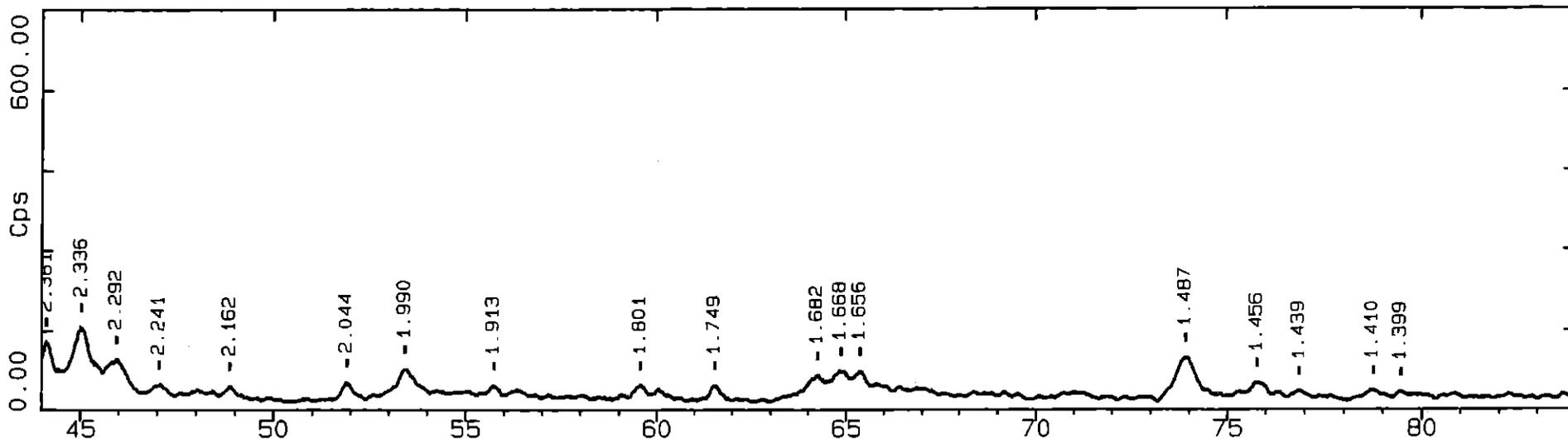
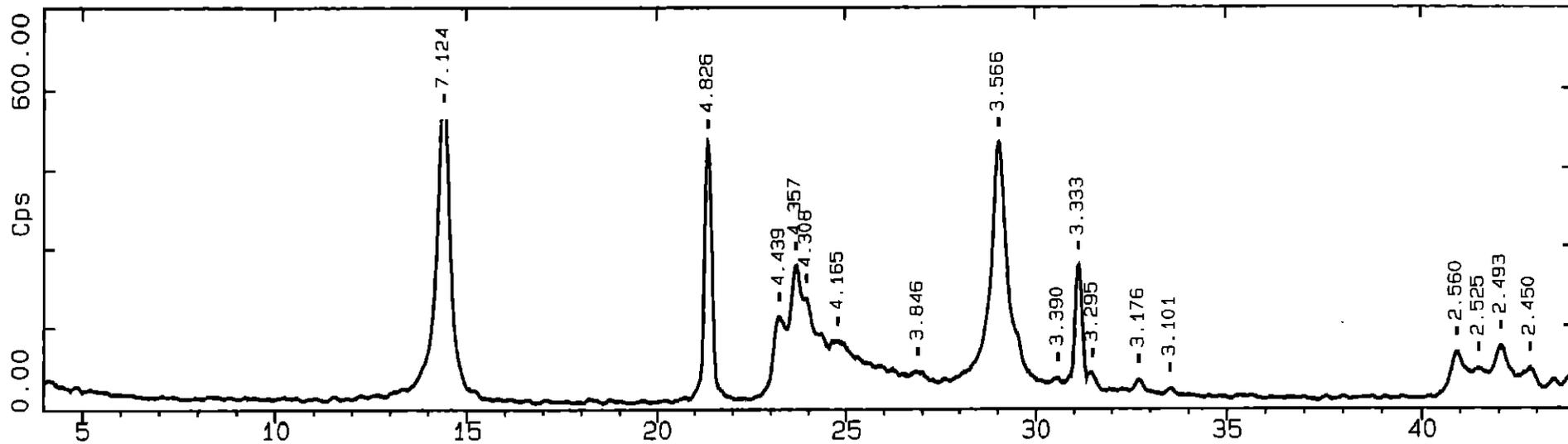
Dump of file: C:\USERDATA\18286.DIF (03-Nov-2003 10:38:38)  
Sample name : 18286 A1 ARGILE BLANCHE (03-Oct-2003 20:08:24)  
D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897  
Wavelength 2: 1.79285

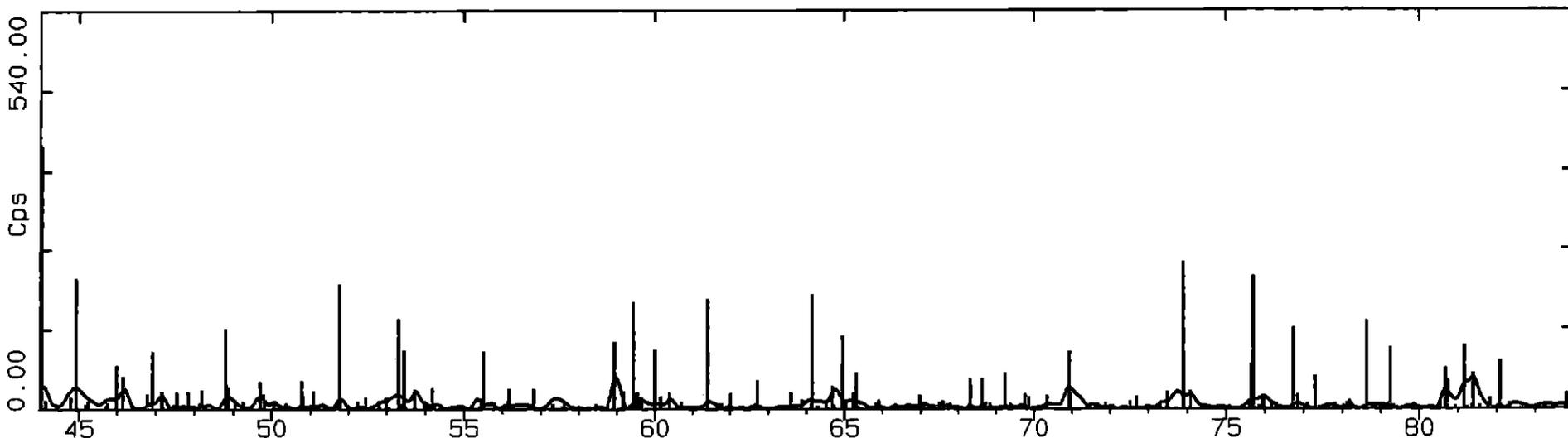
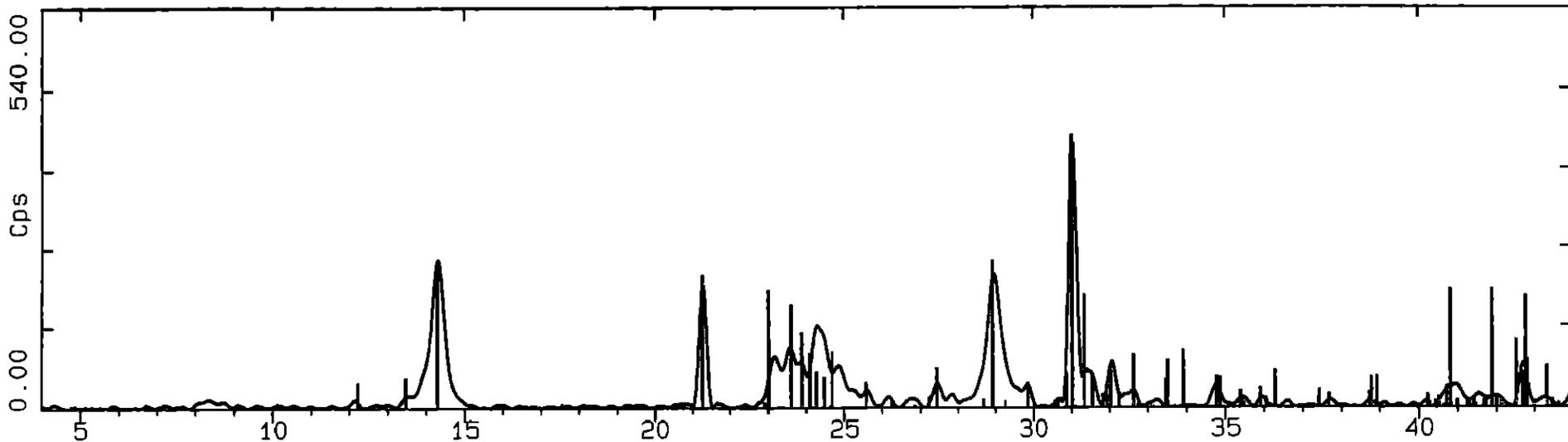
Range # 1  
Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000  
Step size : 0.020 Time/step : 1.0  
Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.427	7.1238	486.20	100.00
2	21.365	4.8256	398.63	81.99
3	23.248	4.4393	135.07	27.78
4	23.695	4.3568	212.23	43.65
5	23.965	4.3084	162.77	33.48
6	24.803	4.1651	98.60	20.28
7	26.897	3.8461	53.18	10.94
8	29.054	3.5660	399.67	82.20
9	30.597	3.3902	44.24	9.10
10	31.136	3.3329	211.03	43.40
11	31.504	3.2949	49.91	10.27
12	32.715	3.1761	41.33	8.50
13	33.529	3.1011	28.50	5.86
14	40.910	2.5596	80.89	16.64
15	41.487	2.5255	58.23	11.98
16	42.059	2.4926	90.06	18.52
17	42.830	2.4498	57.99	11.93
18	44.129	2.3812	102.71	21.12
19	45.038	2.3355	124.18	25.54
20	45.948	2.2917	76.15	15.66
21	47.044	2.2412	37.78	7.77
22	48.874	2.1622	35.59	7.32
23	51.909	2.0438	40.53	8.34
24	53.428	1.9898	61.29	12.61
25	55.741	1.9134	36.49	7.50
26	59.571	1.8007	36.46	7.50
27	61.537	1.7485	36.18	7.44
28	64.250	1.6821	51.28	10.55
29	64.873	1.6677	57.29	11.78
30	65.377	1.6562	57.45	11.82
31	73.932	1.4875	77.75	15.99
32	75.789	1.4563	39.45	8.11
33	76.867	1.4390	27.01	5.56
34	78.764	1.4098	27.71	5.70
35	79.462	1.3994	25.46	5.24

43 79.532 1.3984 31.48 7.93



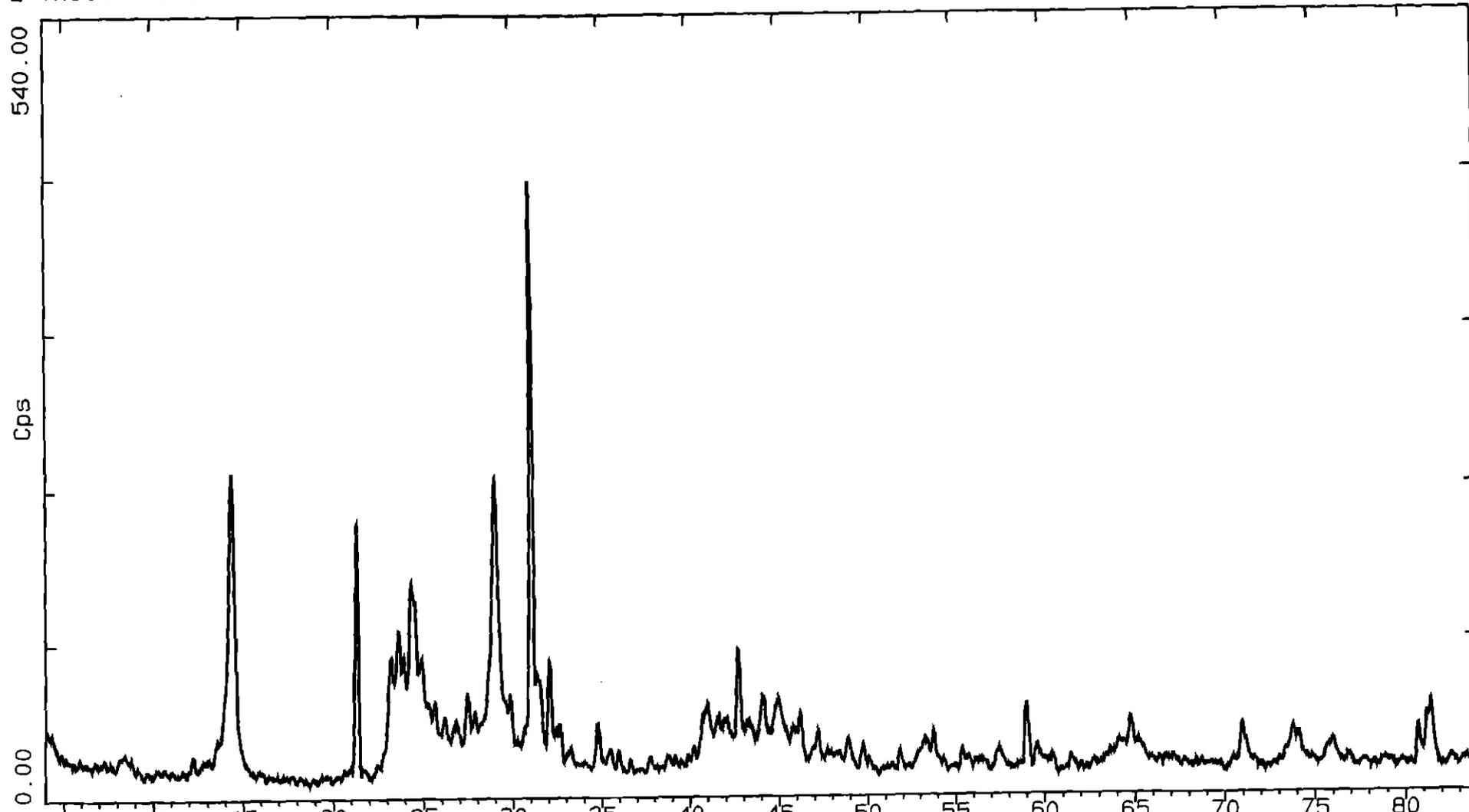
C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)



C:\USERDATA\18287.RAW 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (CT: 1.0s, SS:0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
6-0221 D Al2Si2O5(OH)4 Kaolinite 1Md (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
29-0713 I FeO(OH) Goethite (WL: 1.7890Ao)  
39-1425 \* SiO2 Cristobalite, syn (WL: 1.7890Ao)  
41-1370 \* Ca(Mg, Al)(Si, Al)2O6 Diopside (WL: 1.7890Ao)  
20-0481 I (Ca, Na)2.26(Mg, Fe, Al)5.15(Si, Al)8O22(OH)2 Magnesianhornblende (WL: 1.7890Ao)  
33-0311 \* CaSO4.2H2O Gypsum, syn (WL: 1.7890Ao)  
31-0966 \* KAlSi3O8 Orthoclase (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:54



C:\USERDATA\18287.RAW 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:50:10

Dump of file: C:\USERDATA\18287.DIF (03-Nov-2003 10:40:56)

Sample name : 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (03-Oct-2003 21:15:52)

D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

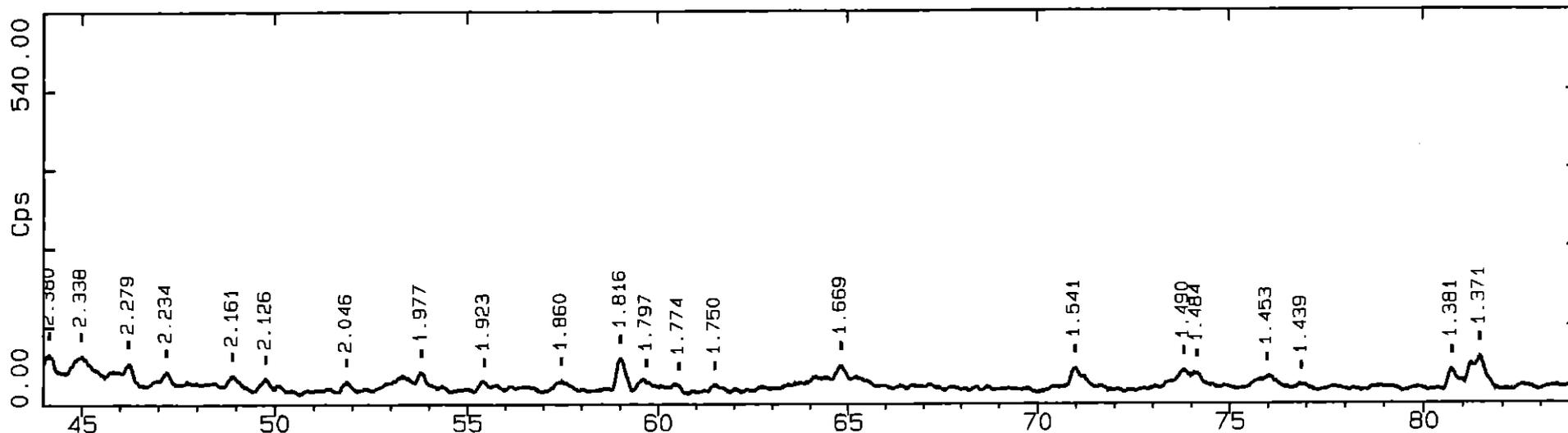
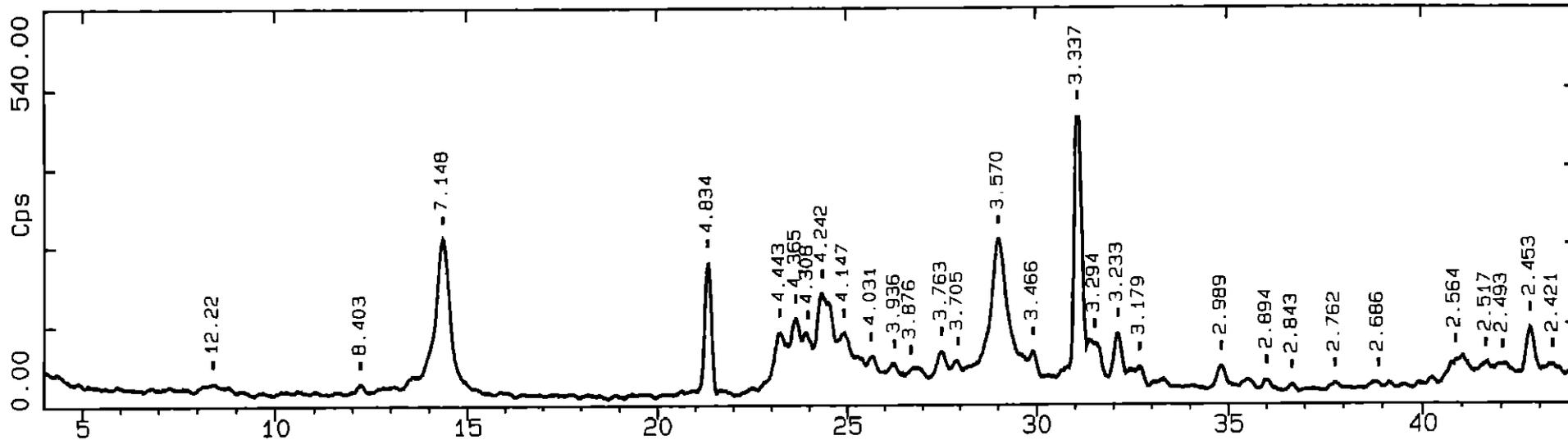
Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

Step size : 0.020 Time/step : 1.0

Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	8.398	12.2164	31.52	7.36
2	12.222	8.4027	29.68	6.93
3	14.377	7.1482	226.92	52.98
4	21.328	4.8338	192.18	44.87
5	23.229	4.4430	97.68	22.81
6	23.649	4.3652	116.61	27.23
7	23.965	4.3084	95.09	22.20
8	24.348	4.2417	151.04	35.27
9	24.915	4.1466	97.37	22.74
10	25.640	4.0312	65.24	15.23
11	26.269	3.9364	55.85	13.04
12	26.688	3.8757	47.41	11.07
13	27.502	3.7630	72.09	16.83
14	27.944	3.7047	58.46	13.65
15	29.022	3.5699	224.09	52.32
16	29.911	3.4661	71.48	16.69
17	31.093	3.3374	428.28	100.00
18	31.516	3.2937	81.60	19.05
19	32.120	3.2333	95.50	22.30
20	32.688	3.1786	50.67	11.83
21	34.823	2.9893	51.35	11.99
22	36.005	2.8942	32.28	7.54
23	36.670	2.8435	25.82	6.03
24	37.787	2.7624	27.88	6.51
25	38.904	2.6860	27.67	6.46
26	40.840	2.5637	59.17	13.82
27	41.627	2.5174	54.19	12.65
28	42.045	2.4934	52.37	12.23
29	42.774	2.4529	102.01	23.82
30	43.372	2.4207	52.82	12.33
31	44.147	2.3803	69.74	16.28
32	44.982	2.3383	67.78	15.83
33	46.229	2.2785	57.67	13.47
34	47.207	2.2339	45.55	10.64
35	48.913	2.1606	40.02	9.34
36	49.772	2.1256	35.67	8.33
37	51.854	2.0458	31.47	7.35
38	53.802	1.9770	44.38	10.36
39	55.449	1.9227	31.62	7.38
40	57.480	1.8603	32.59	7.61
41	59.021	1.8159	62.99	14.71
42	59.707	1.7969	30.89	7.21

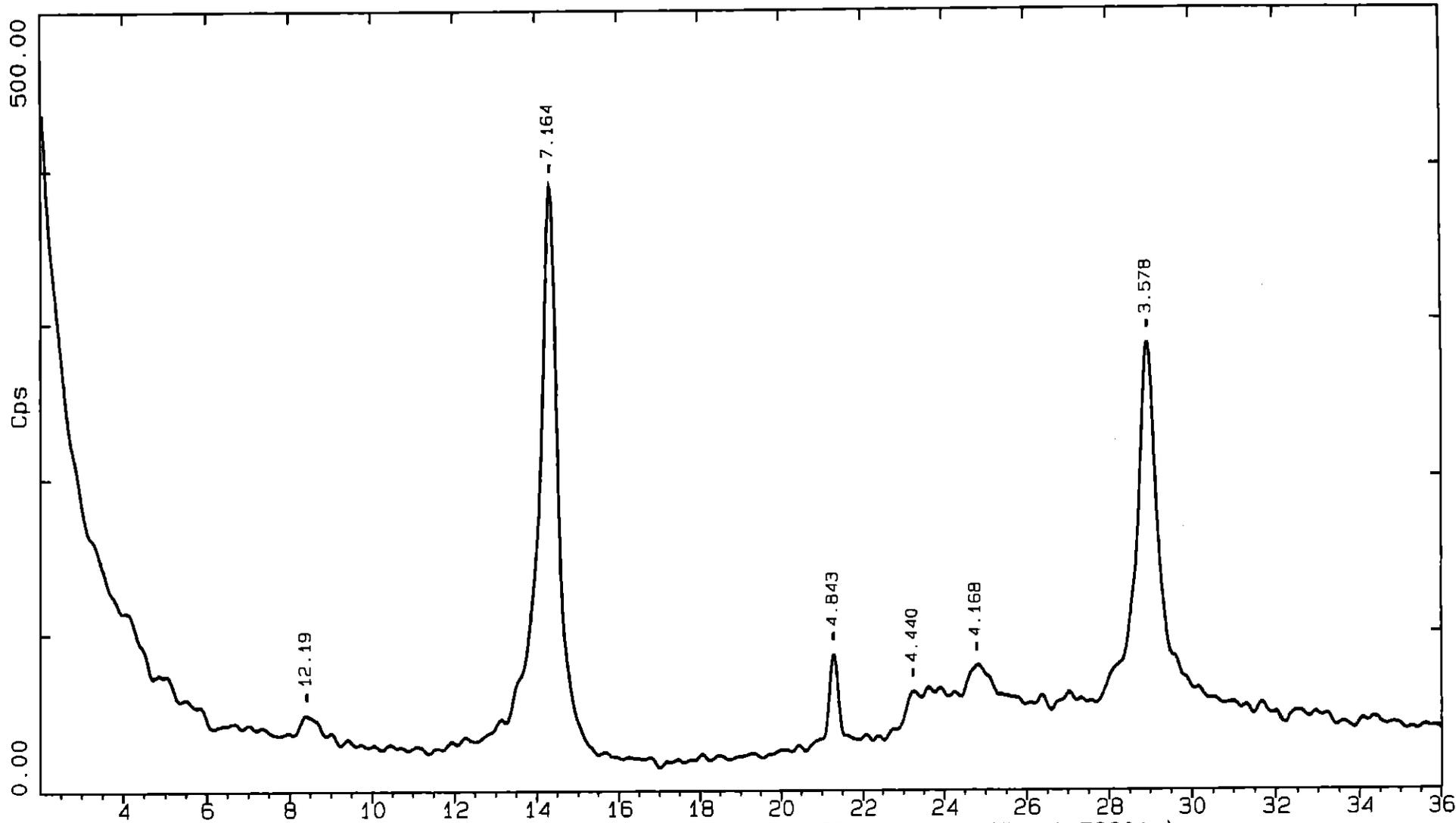
43	60.545	1.7744	25.53	5.96
44	61.491	1.7497	26.19	6.11
45	64.816	1.6690	53.28	12.44
46	70.976	1.5408	48.07	11.22
47	73.808	1.4896	45.75	10.68
48	74.157	1.4836	41.46	9.68
49	75.972	1.4533	36.68	8.56
50	76.880	1.4388	24.91	5.82
51	80.718	1.3813	46.03	10.75
52	81.429	1.3713	63.08	14.73



C: \USERDATA\18287.RAW 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

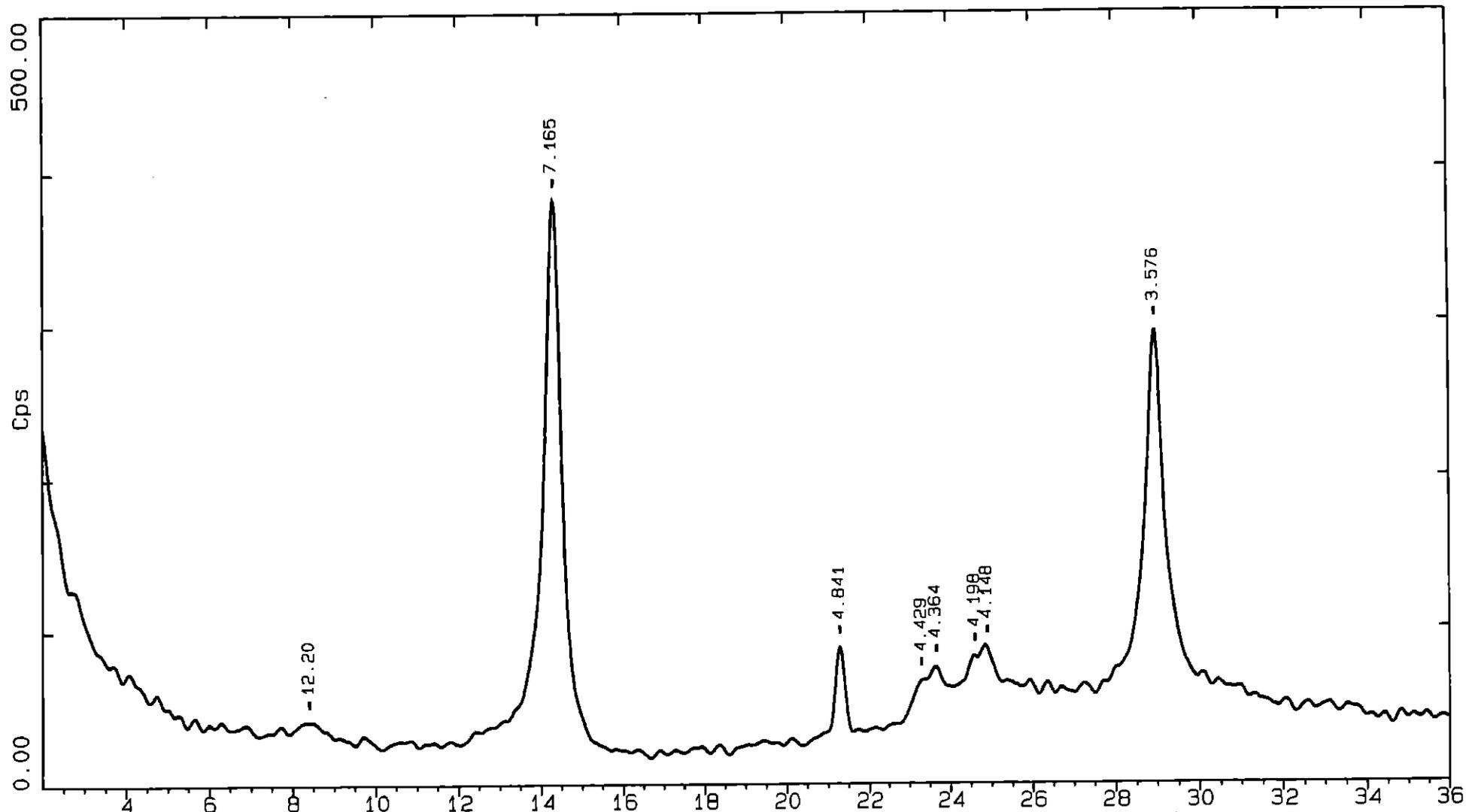
B R G M 29-Oct-2003 17:19



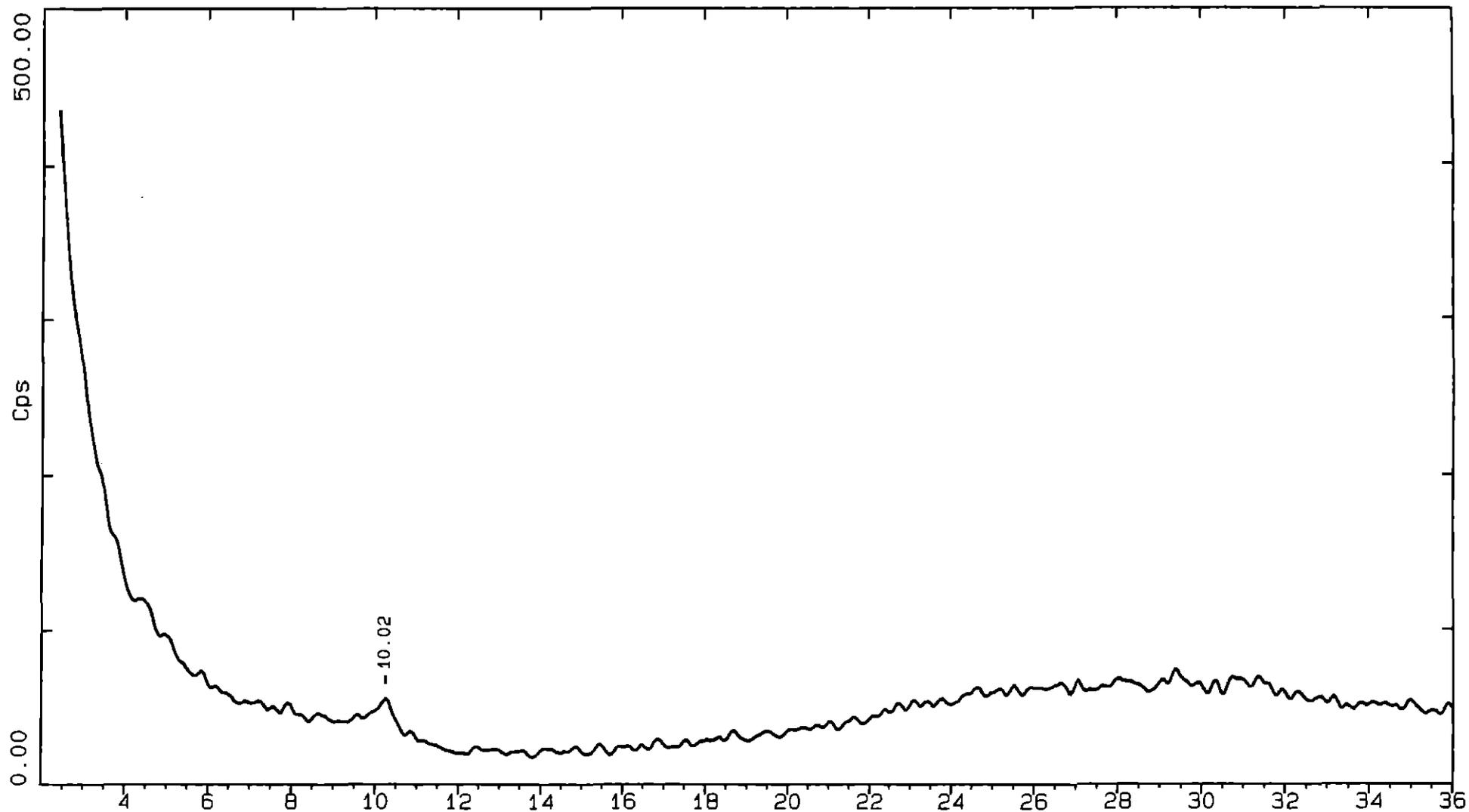
C:\USERDATA\18287N.RAW A2 Argile ocre brune (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

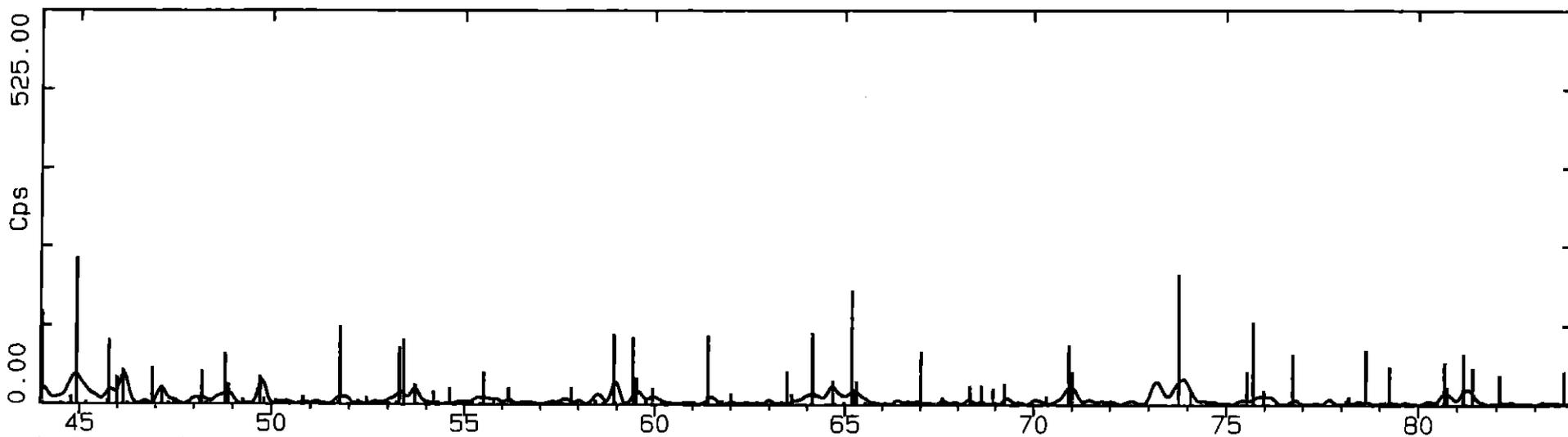
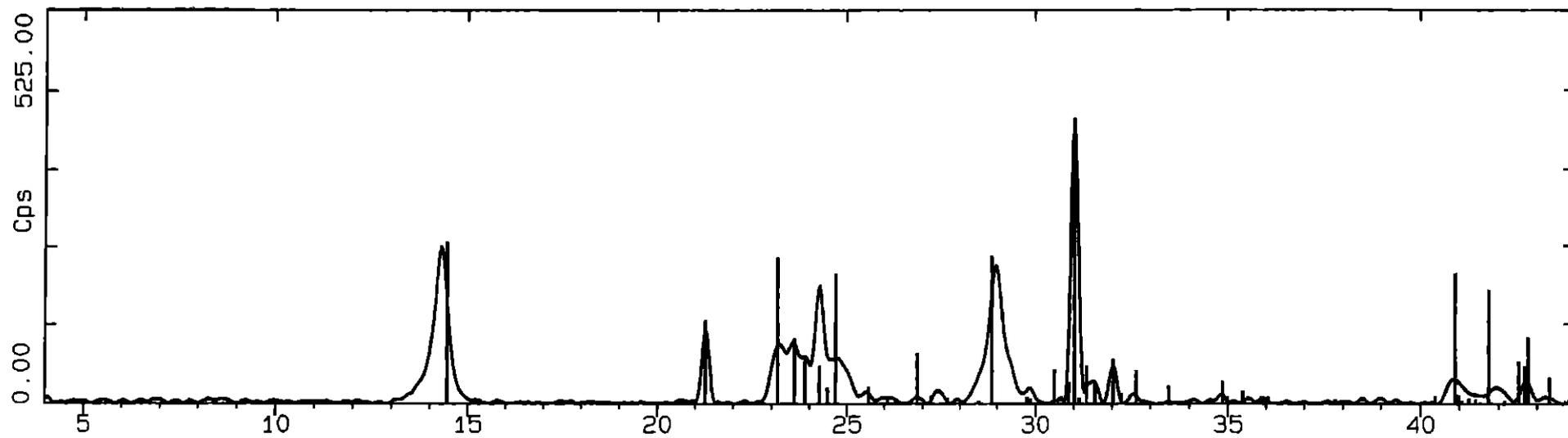
B R G M 29-Oct-2003 17:17



C:\USERDATA\18287G.RAW A2 argile ocre brune (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)



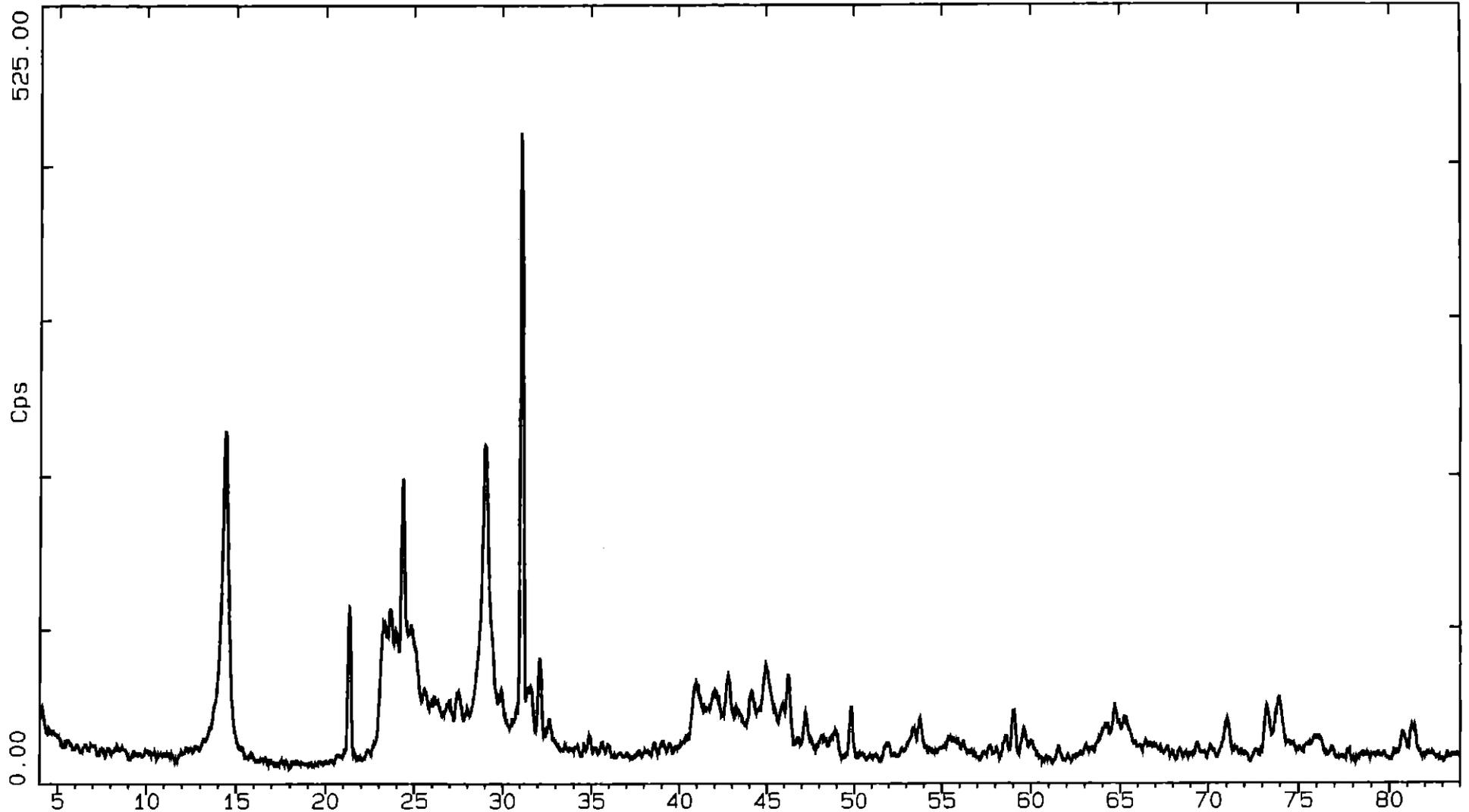
C:\USERDATA\18287C.RAW A2 argile ocre brune (CT: 1.0s, SS:0.020dg, WL: 1.7890Ao)



C:\USERDATA\18288.RAW 18288 A3 ARGILE OCRE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
19-0932 I KAlSi3O8 Microcline, intermediate (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
3-0052 D Al2O3.2SiO2.2H2O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)  
39-1425 \* SiO2 Cristobalite, syn (WL: 1.7890Ao)  
41-1370 \* Ca(Mg, Al)(Si, Al)2O6 Diopside (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:55



C:\USERDATA\18288.RAW 18288 A3 ARGILE OCRE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:51:52

Dump of file: C:\USERDATA\18288.DIF (03-Nov-2003 10:42:32)

Sample name : 18288 A3 ARGILE OCRE (03-Oct-2003 22:23:20)

D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

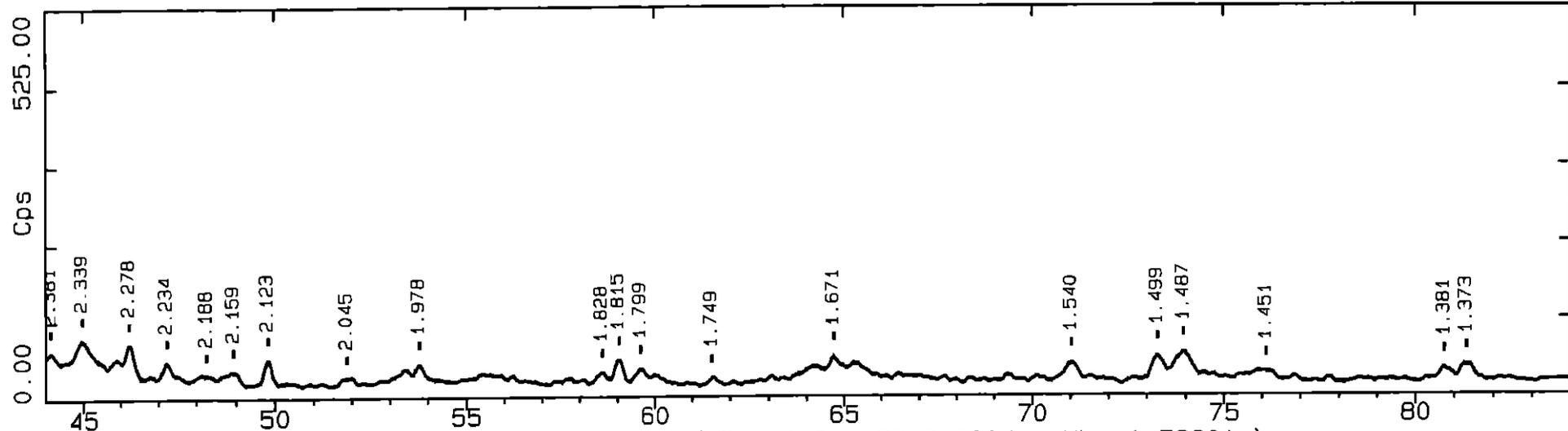
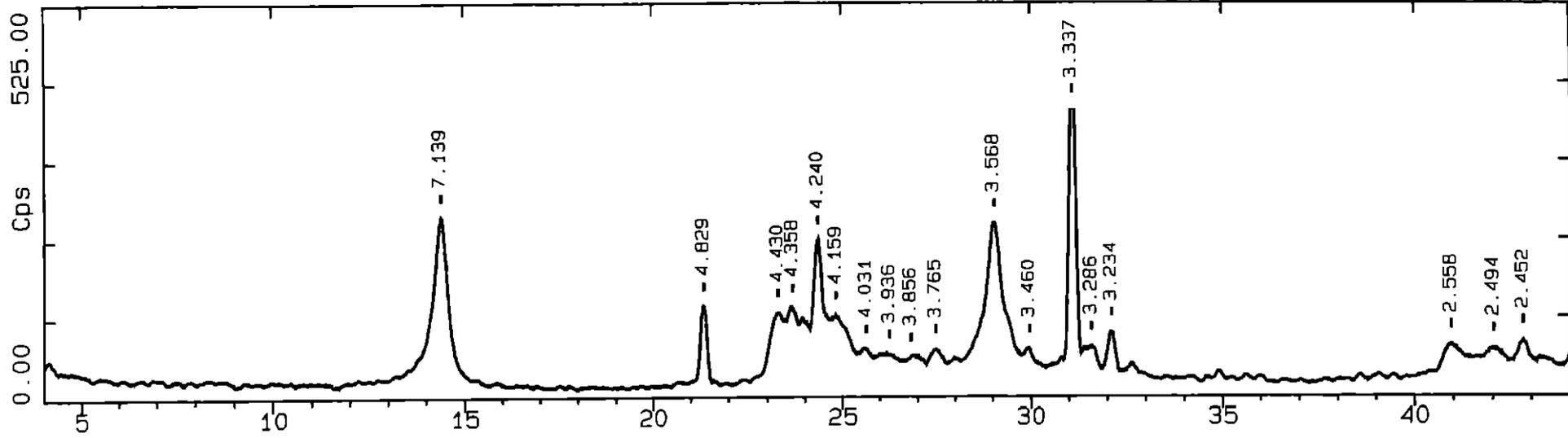
Step size : 0.020 Time/step : 1.0

Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.396	7.1387	240.33	54.45
2	21.351	4.8286	120.29	27.25
3	23.297	4.4302	110.67	25.07
4	23.686	4.3585	116.98	26.50
5	24.355	4.2404	208.22	47.17
6	24.838	4.1593	107.60	24.38
7	25.640	4.0312	62.91	14.25
8	26.269	3.9364	56.10	12.71
9	26.827	3.8559	52.18	11.82
10	27.490	3.7647	62.58	14.18
11	29.036	3.5682	230.33	52.18
12	29.969	3.4596	62.74	14.21
13	31.101	3.3366	441.41	100.00
14	31.593	3.2859	66.27	15.01
15	32.112	3.2341	84.72	19.19
16	40.940	2.5578	67.94	15.39
17	42.030	2.4943	63.37	14.36
18	42.795	2.4517	73.71	16.70
19	44.128	2.3812	63.08	14.29
20	44.976	2.3386	80.49	18.23
21	46.230	2.2785	73.28	16.60
22	47.216	2.2336	49.02	11.11
23	48.258	2.1881	30.05	6.81
24	48.940	2.1594	36.47	8.26
25	49.833	2.1232	51.80	11.74
26	51.888	2.0446	25.75	5.83
27	53.775	1.9779	44.62	10.11
28	58.602	1.8277	32.60	7.39
29	59.048	1.8152	49.04	11.11
30	59.624	1.7992	37.06	8.40
31	61.522	1.7489	23.98	5.43
32	64.733	1.6709	53.02	12.01
33	71.036	1.5397	43.71	9.90
34	73.274	1.4989	52.80	11.96
35	73.962	1.4870	58.18	13.18
36	76.112	1.4511	30.67	6.95
37	80.753	1.3808	35.02	7.93
38	81.321	1.3728	38.75	8.78

2-Theta - Scale

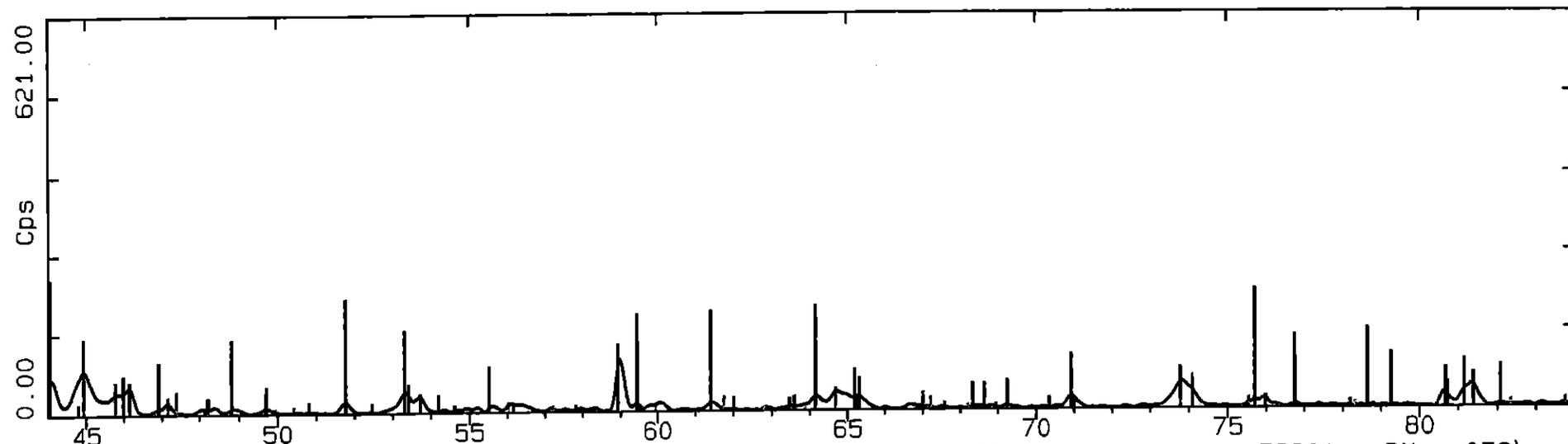
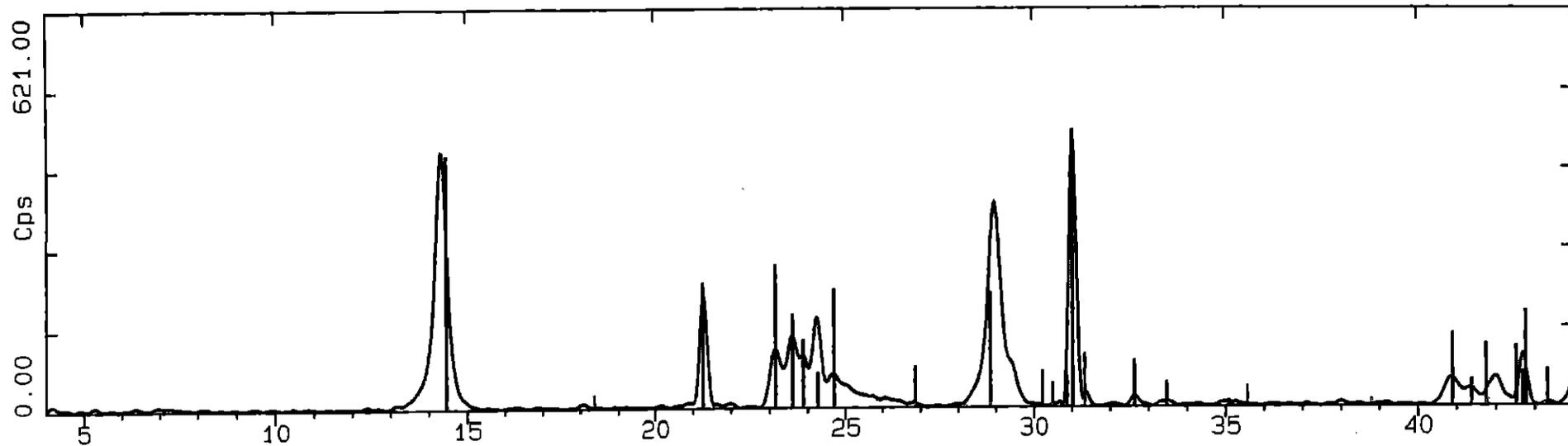
B R G M 03-Nov-2003 10:57



C: \USERDATA\18288.RAW 18288 A3 ARGILE OCRE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

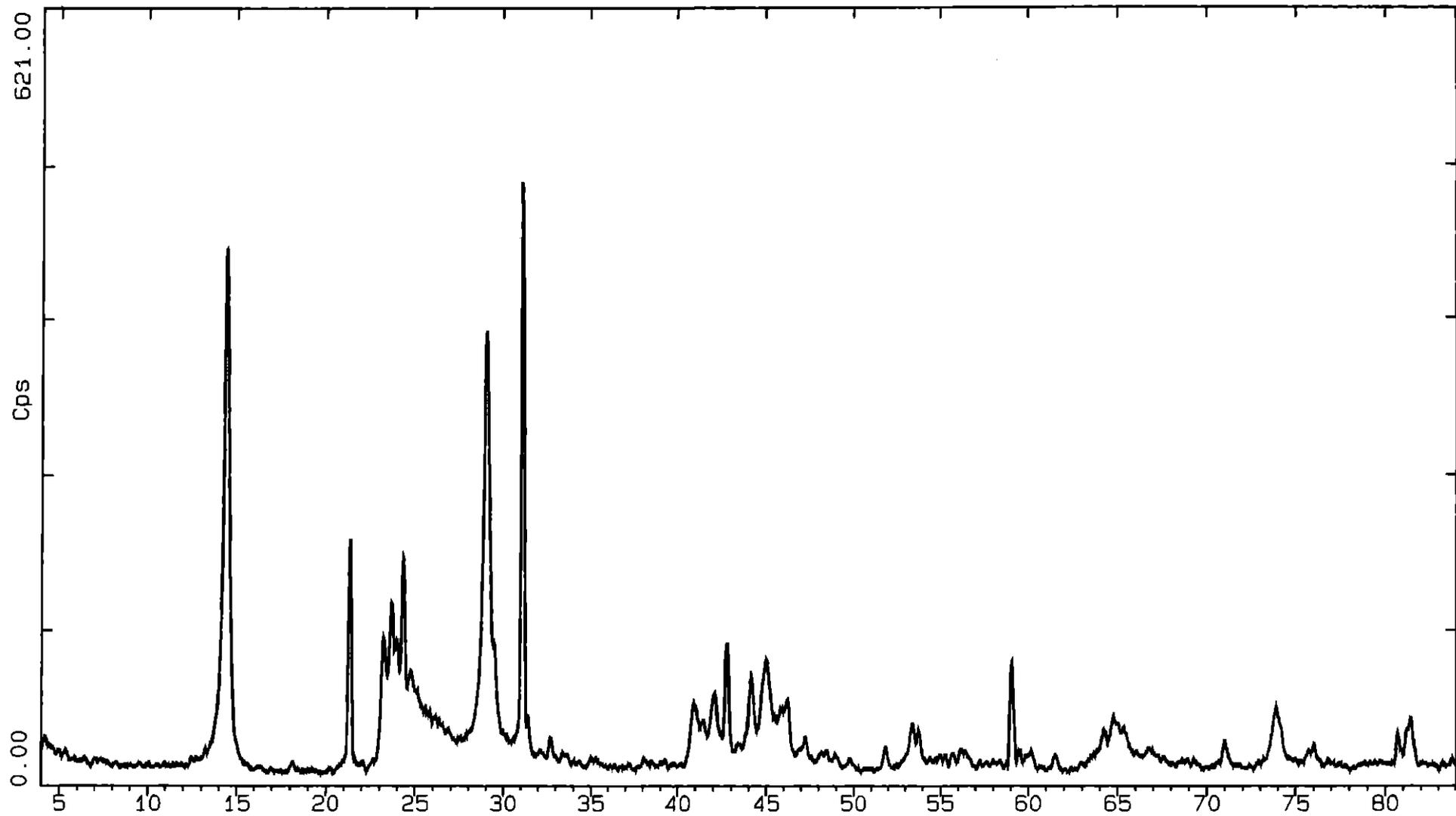
B R G M 03-Nov-2003 12:45



C:\USERDATA\18289.RAW 18289 A4 ARGILE OCRE BEIGE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao, DX: -.073)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
3-0052 D Al2O3.2SiO2.2H2O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)  
19-0629 \* FeFe2O4 Magnetite, syn (WL: 1.7890Ao)  
19-1180 Na(Si2Al)O6.H2O Analcime-O (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:58



C:\USERDATA\18289.RAW 18289 A4 ARGILE OCRE BEIGE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:52:10

Dump of file: C:\USERDATA\18289.DIF (03-Nov-2003 10:49:40)

Sample name : 18289 A4 ARGILE OCRE BEIGE (03-Oct-2003 23:30:48)

D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

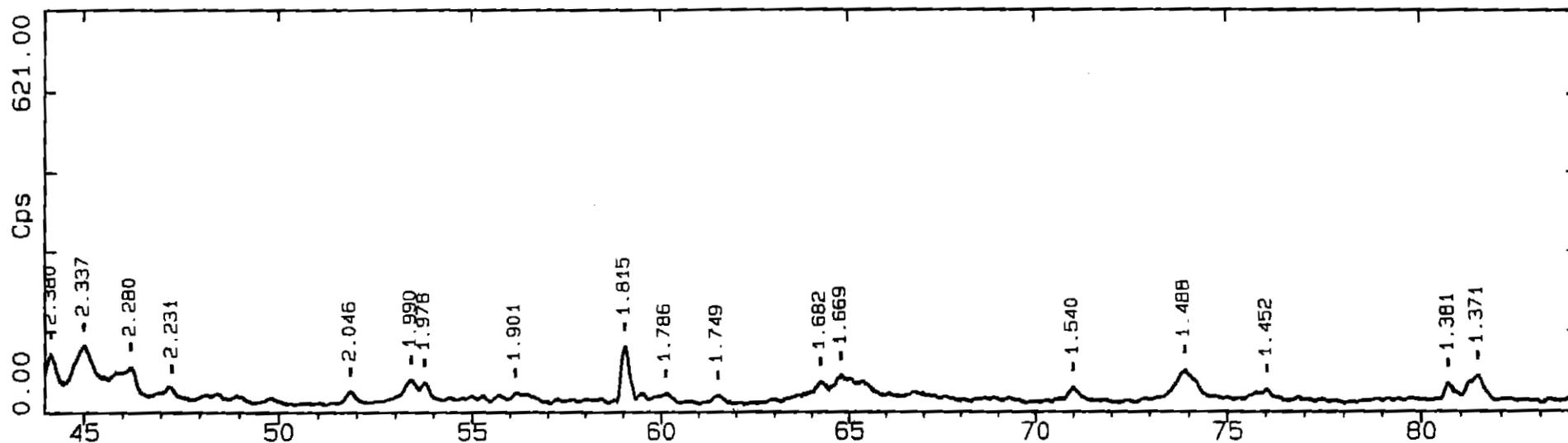
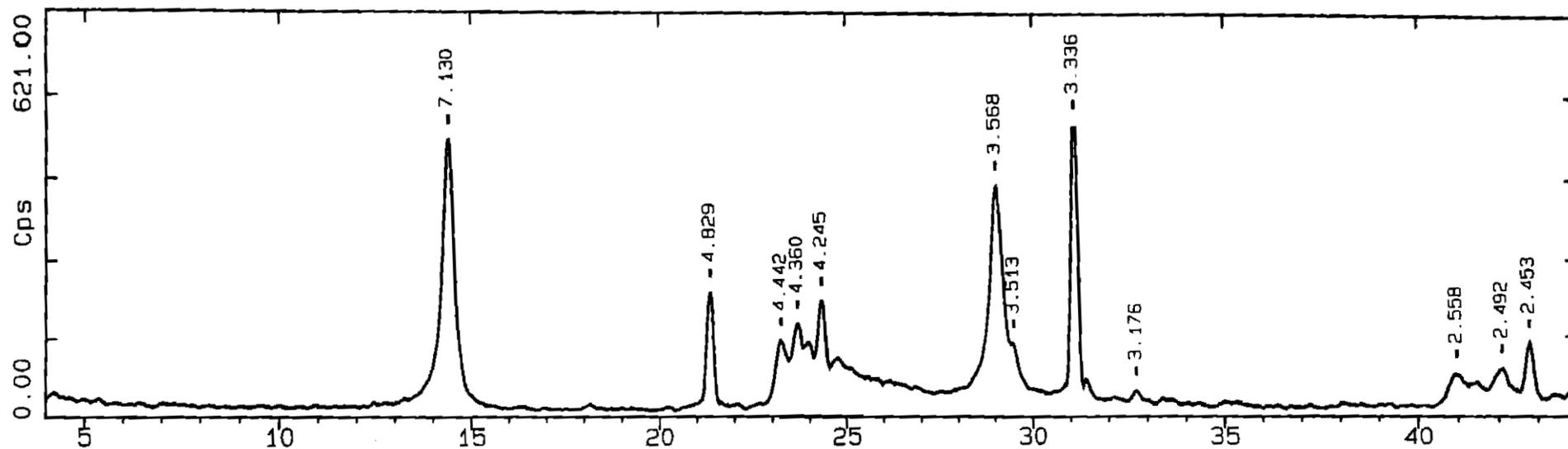
Step size : 0.020 Time/step : 1.0

Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.413	7.1304	429.35	88.85
2	21.351	4.8285	196.13	40.59
3	23.234	4.4421	118.45	24.51
4	23.679	4.3597	145.88	30.19
5	24.326	4.2455	182.54	37.77
6	29.034	3.5684	361.42	74.79
7	29.500	3.5133	113.45	23.48
8	31.106	3.3360	483.23	100.00
9	32.715	3.1761	38.34	7.93
10	40.940	2.5577	64.91	13.43
11	42.077	2.4916	73.05	15.12
12	42.773	2.4529	113.46	23.48
13	44.152	2.3800	87.76	18.16
14	45.009	2.3370	100.95	20.89
15	46.208	2.2795	68.43	14.16
16	47.281	2.2307	35.24	7.29
17	51.844	2.0462	30.80	6.37
18	53.414	1.9903	49.14	10.17
19	53.767	1.9782	44.63	9.24
20	56.147	1.9007	28.52	5.90
21	59.056	1.8149	99.04	20.49
22	60.126	1.7856	26.63	5.51
23	61.511	1.7492	24.50	5.07
24	64.244	1.6822	44.68	9.25
25	64.803	1.6693	52.76	10.92
26	71.013	1.5401	35.69	7.39
27	73.908	1.4879	62.62	12.96
28	76.042	1.4522	33.26	6.88
29	80.710	1.3814	41.63	8.61
30	81.430	1.3713	53.59	11.09

2-Theta - Scale

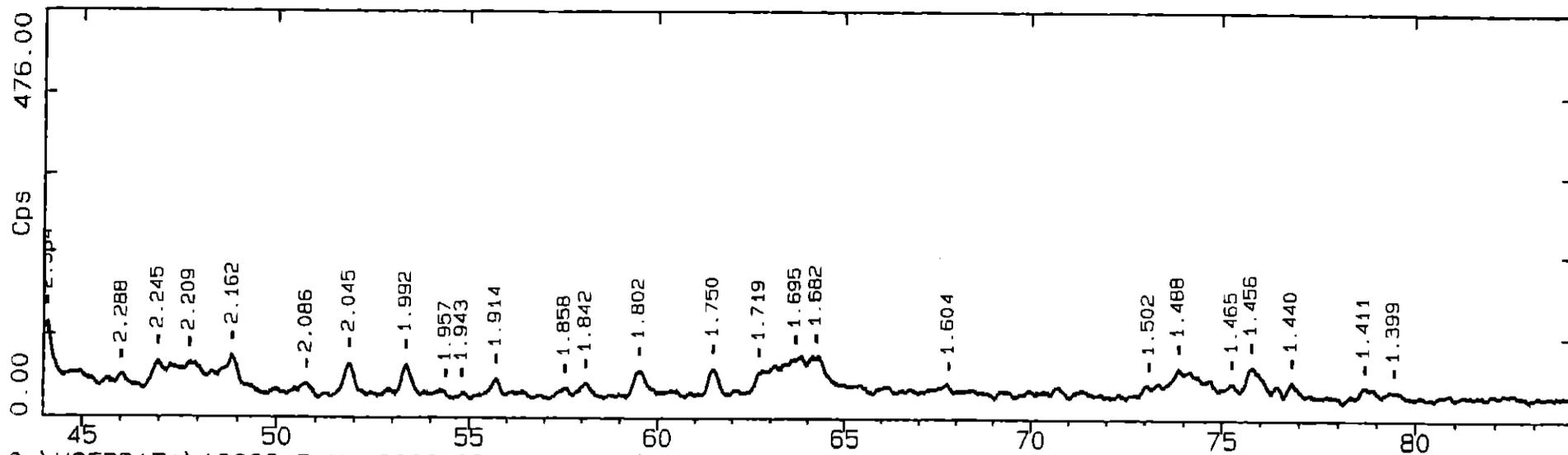
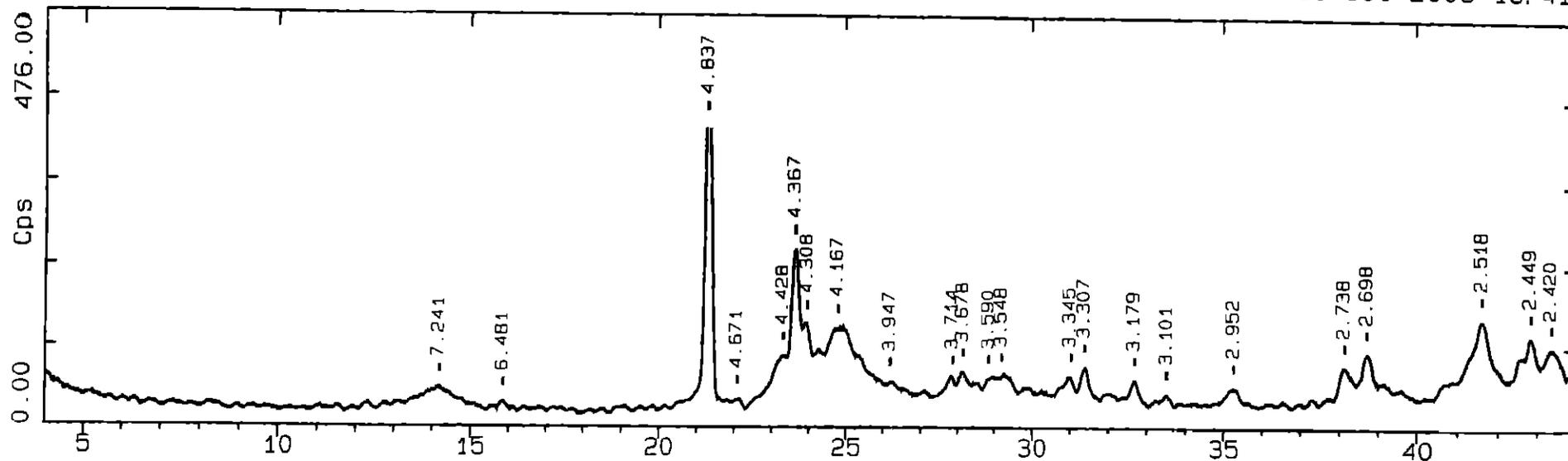
B R G M 03-Nov-2003 11:00



C:\USERDATA\18289.RAW 18289 A4 ARGILE OCRE BEIGE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

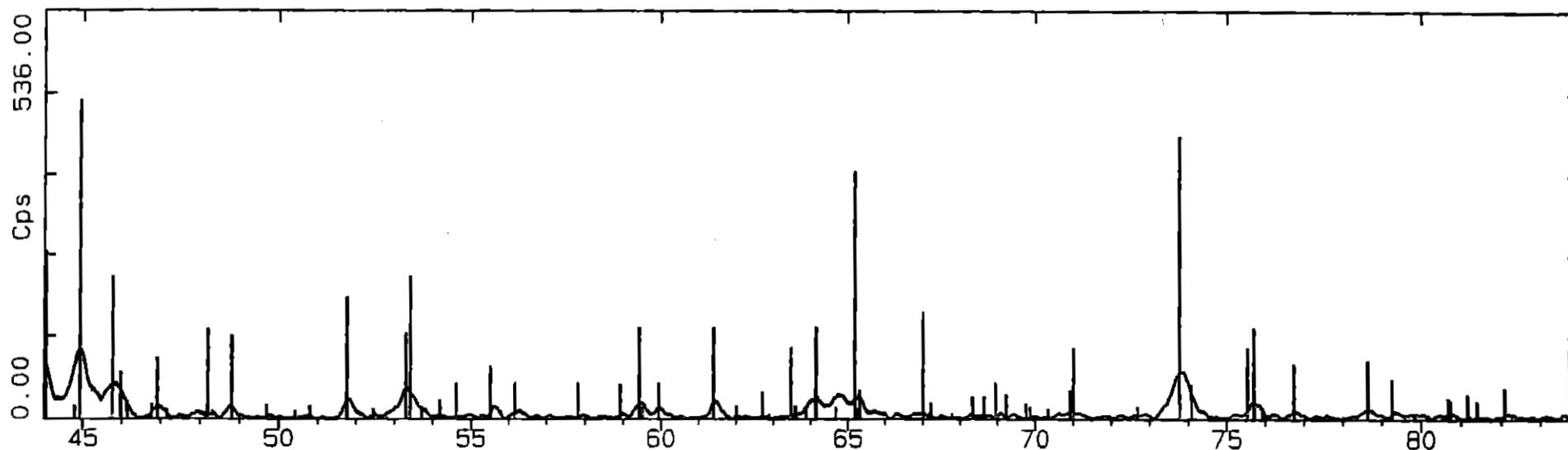
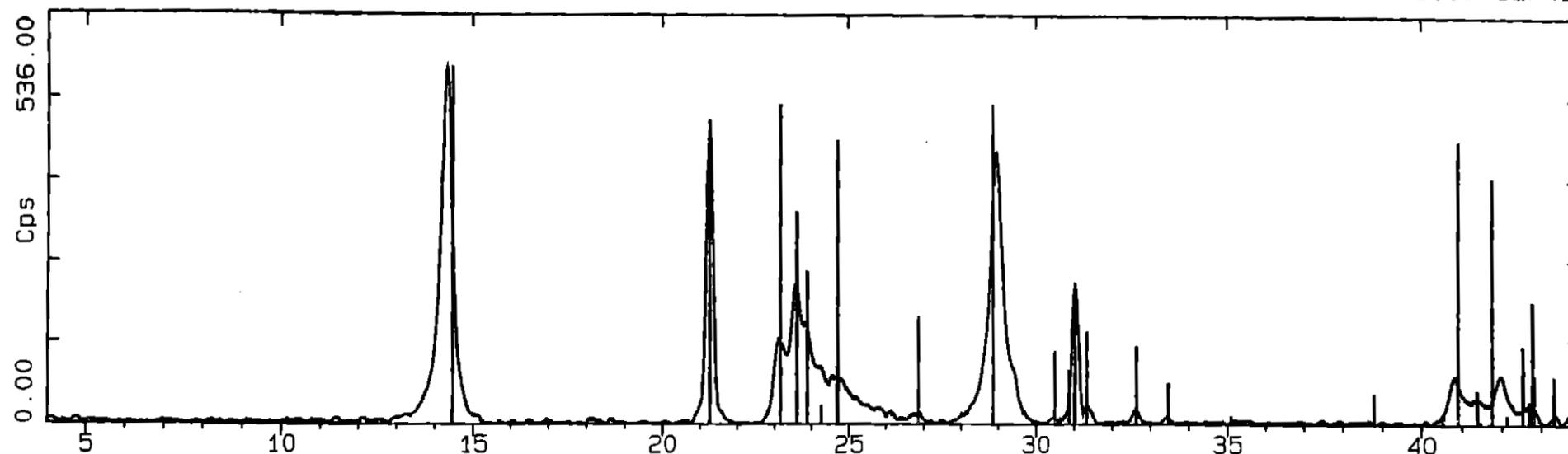
B R G M 31-Oct-2003 16:41



C:\USERDATA\18283.RAW 18283 BRAS PANON (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

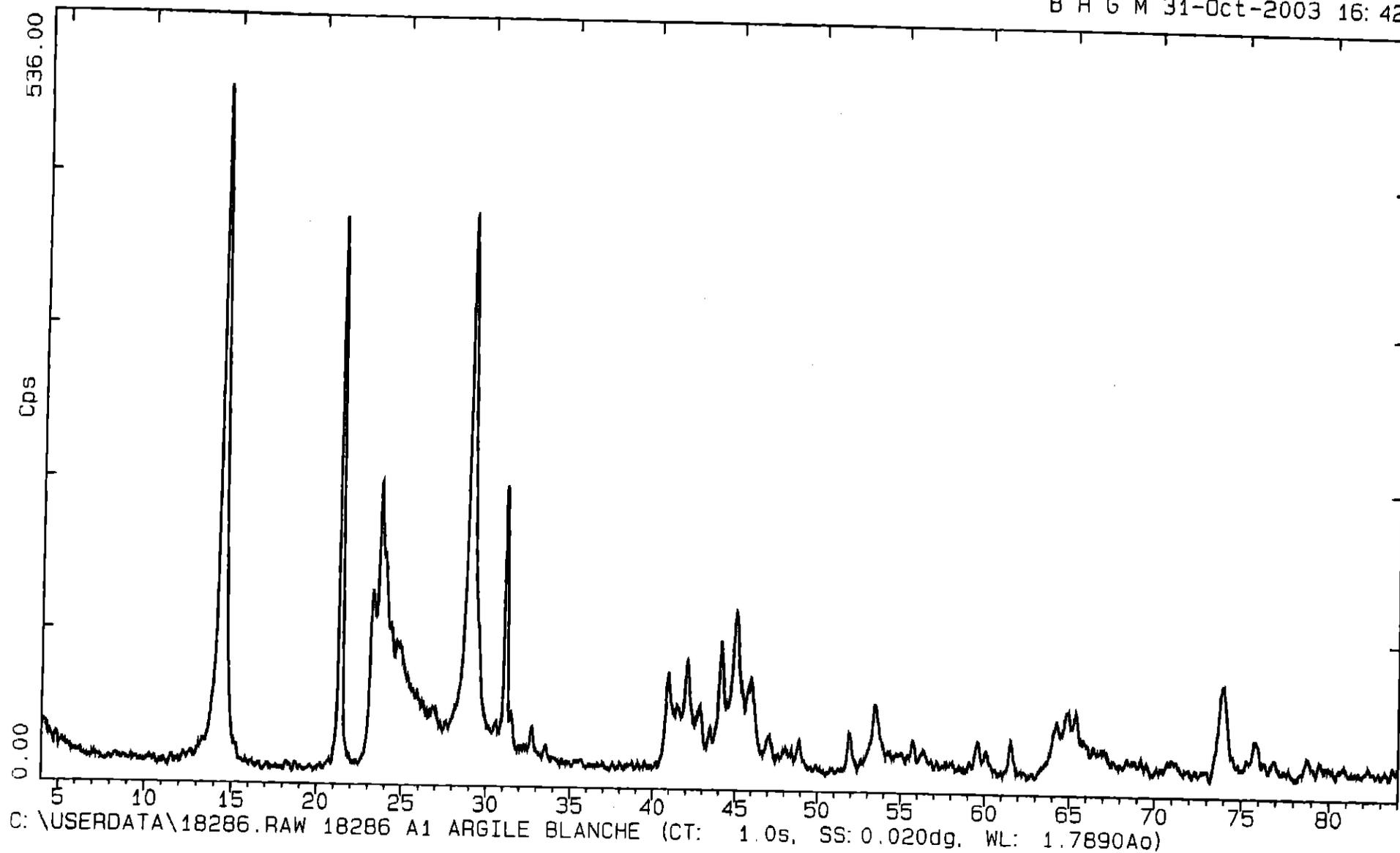
B R G M 03-Nov-2003 12: 48



C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
19-0629 \* FeFe2O4 Magnetite, syn (WL: 1.7890Ao)  
29-0713 I FeO(OH) Goethite (WL: 1.7890Ao)  
3-0052 D Al2O3.2SiO2.2H2O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 31-Oct-2003 16:42



DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:39:06

Dump of file: C:\USERDATA\18286.DIF (03-Nov-2003 10:38:38)  
Sample name : 18286 A1 ARGILE BLANCHE (03-Oct-2003 20:08:24)  
D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897  
Wavelength 2: 1.79285

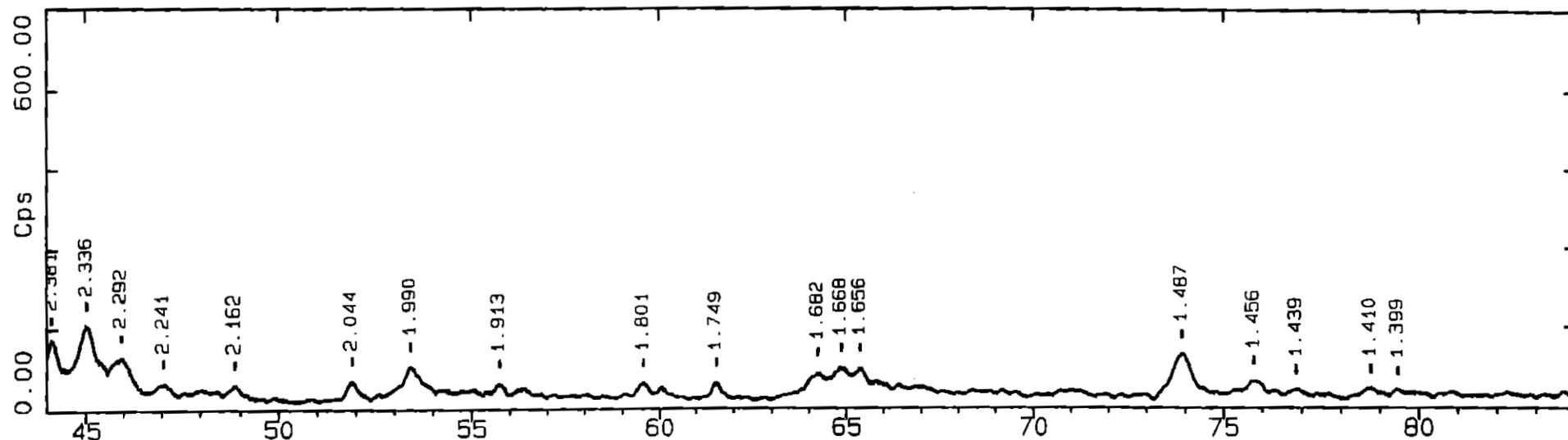
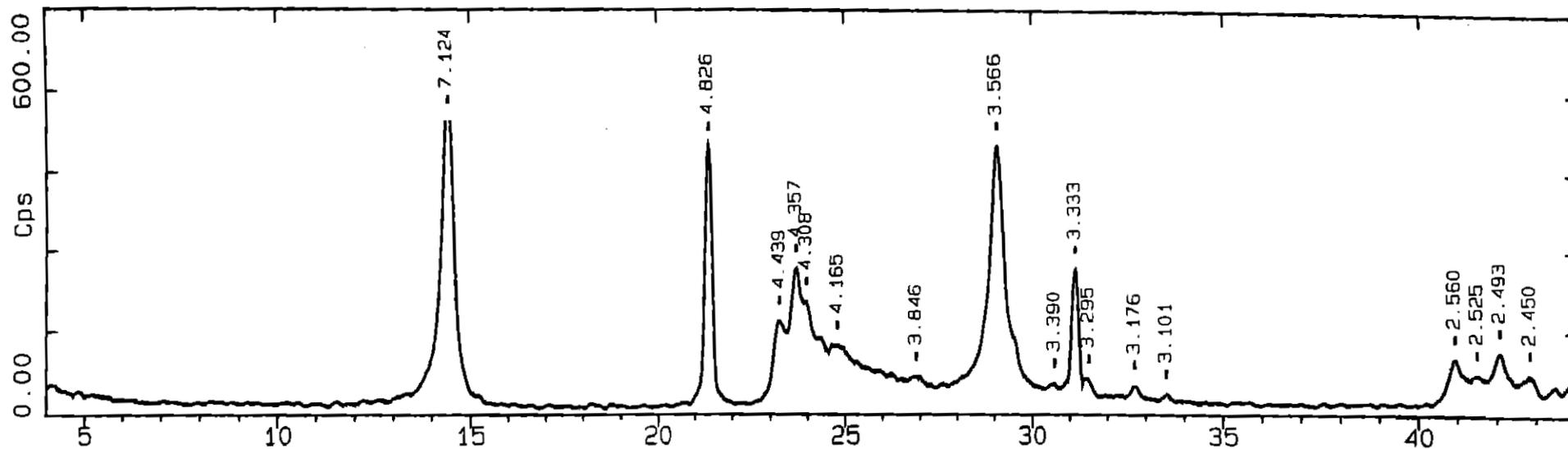
Range # 1  
Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000  
Step size : 0.020 Time/step : 1.0  
Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.427	7.1238	486.20	100.00
2	21.365	4.8256	398.63	81.99
3	23.248	4.4393	135.07	27.78
4	23.695	4.3568	212.23	43.65
5	23.965	4.3084	162.77	33.48
6	24.803	4.1651	98.60	20.28
7	26.897	3.8461	53.18	10.94
8	29.054	3.5660	399.67	82.20
9	30.597	3.3902	44.24	9.10
10	31.136	3.3329	211.03	43.40
11	31.504	3.2949	49.91	10.27
12	32.715	3.1761	41.33	8.50
13	33.529	3.1011	28.50	5.86
14	40.910	2.5596	80.89	16.64
15	41.487	2.5255	58.23	11.98
16	42.059	2.4926	90.06	18.52
17	42.830	2.4498	57.99	11.93
18	44.129	2.3812	102.71	21.12
19	45.038	2.3355	124.18	25.54
20	45.948	2.2917	76.15	15.66
21	47.044	2.2412	37.78	7.77
22	48.874	2.1622	35.59	7.32
23	51.909	2.0438	40.53	8.34
24	53.428	1.9898	61.29	12.61
25	55.741	1.9134	36.49	7.50
26	59.571	1.8007	36.46	7.50
27	61.537	1.7485	36.18	7.44
28	64.250	1.6821	51.28	10.55
29	64.873	1.6677	57.29	11.78
30	65.377	1.6562	57.45	11.82
31	73.932	1.4875	77.75	15.99
32	75.789	1.4563	39.45	8.11
33	76.867	1.4390	27.01	5.56
34	78.764	1.4098	27.71	5.70
35	79.462	1.3994	25.46	5.24

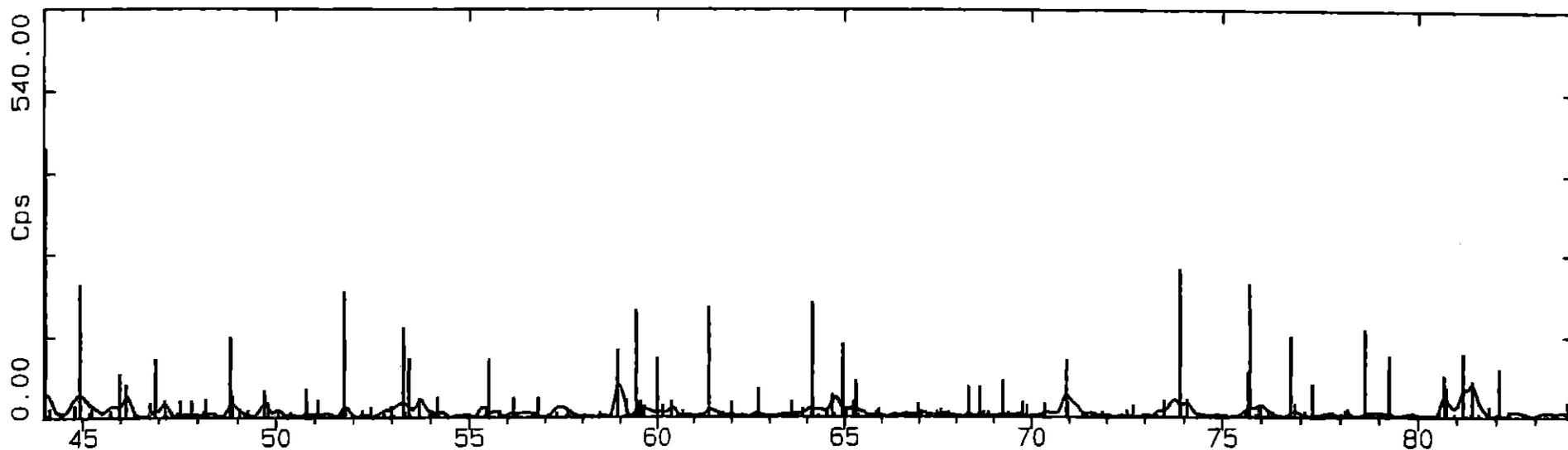
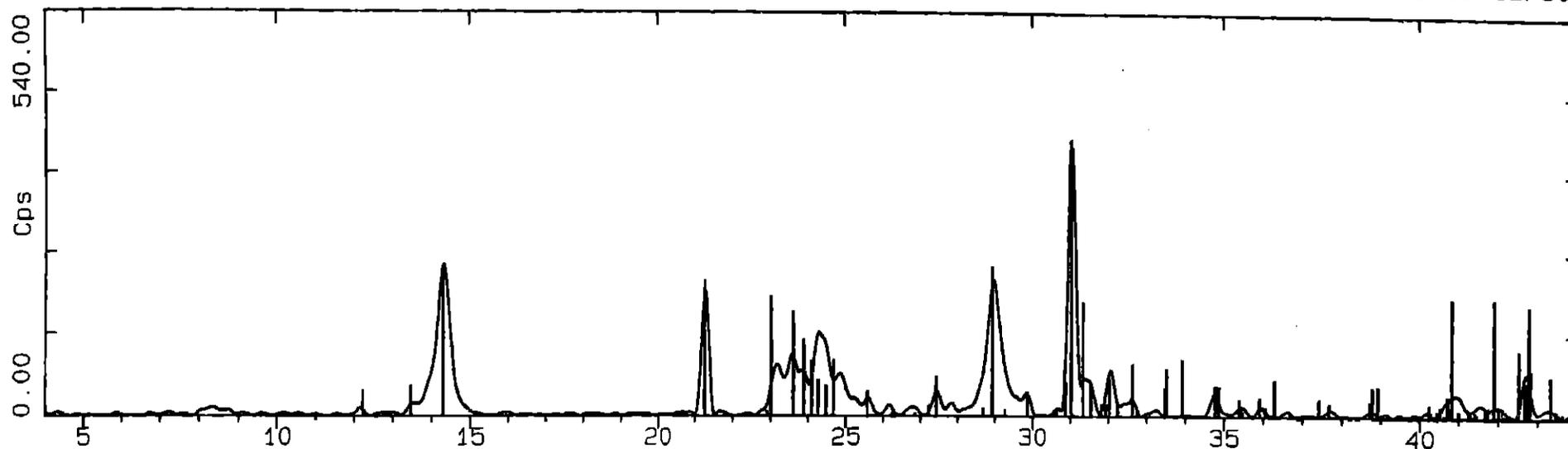
43 79.532 1.3984 31.48 7.93

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:52



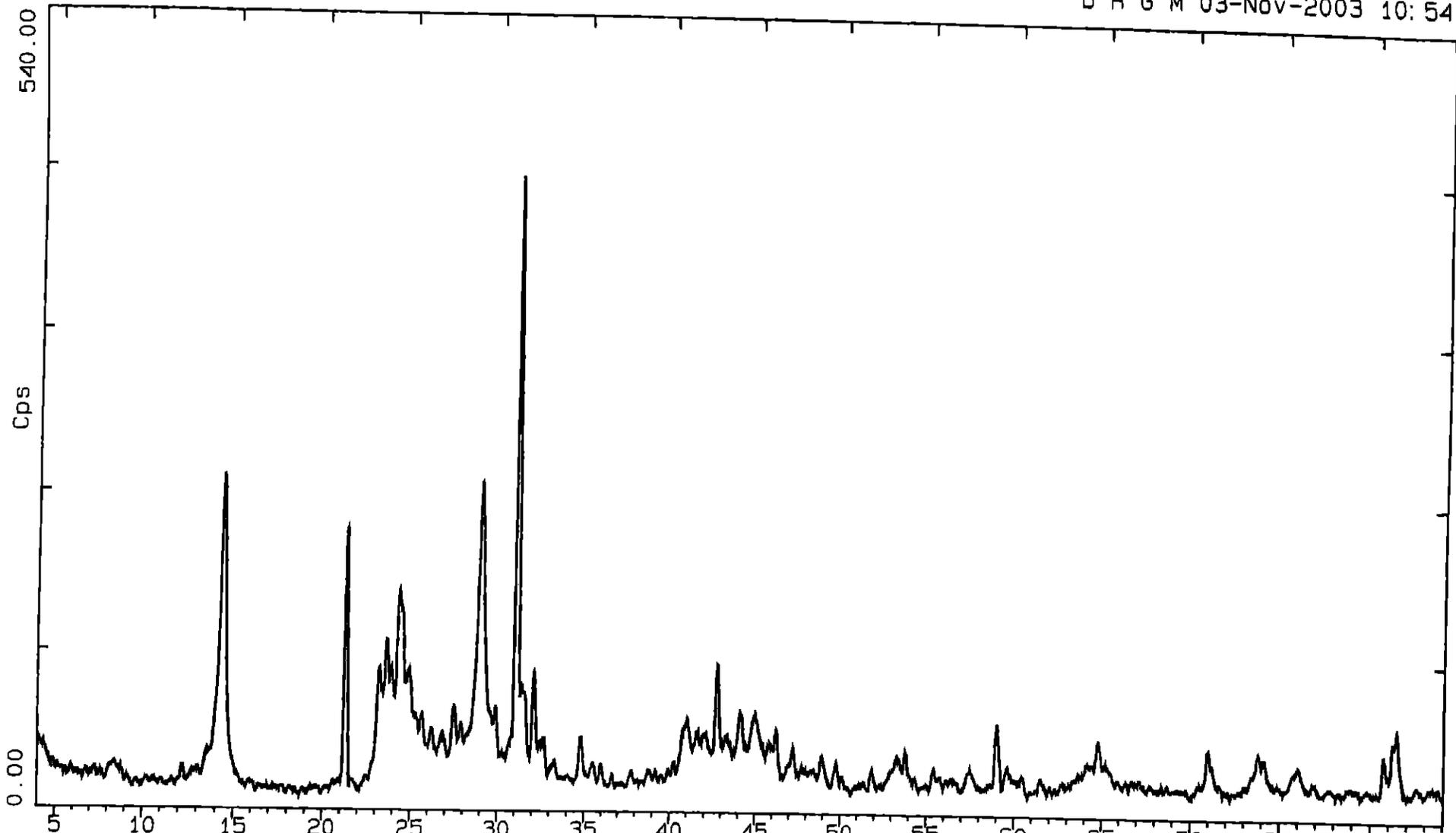
C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)



C:\USERDATA\18287.RAW 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
6-0221 D Al2Si2O5(OH)4 Kaolinite 1Md (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
29-0713 I FeO(OH) Goethite (WL: 1.7890Ao)  
39-1425 \* SiO2 Cristobalite, syn (WL: 1.7890Ao)  
41-1370 \* Ca(Mg, Al)(Si, Al)2O6 Diopside (WL: 1.7890Ao)  
20-0481 I (Ca, Na)2.26(Mg, Fe, Al)5.15(Si, Al)8O22(OH)2 Magnesianhornblende (WL: 1.7890Ao)  
33-0311 \* CaSO4.2H2O Gypsum, syn (WL: 1.7890Ao)  
31-0966 \* KAlSi3O8 Orthoclase (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:54



C:\USERDATA\18287.RAW 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:36:20

Dump of file: C:\USERDATA\18283.DIF (03-Nov-2003 10:36:06)

Sample name : 18283 BRAS PANON (03-Oct-2003 19:00:56)

DSMEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

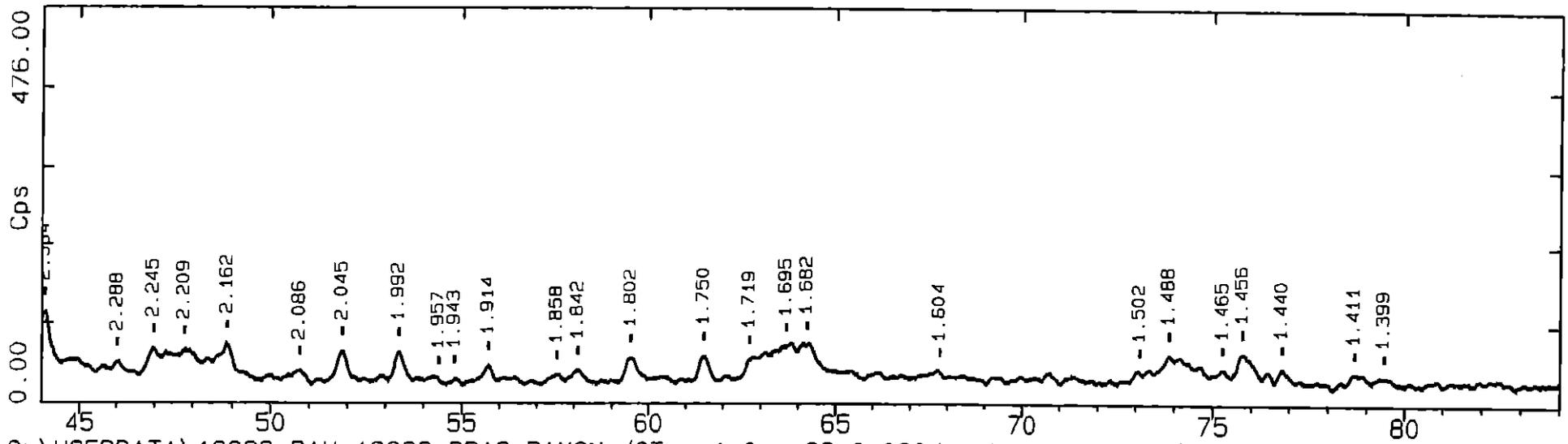
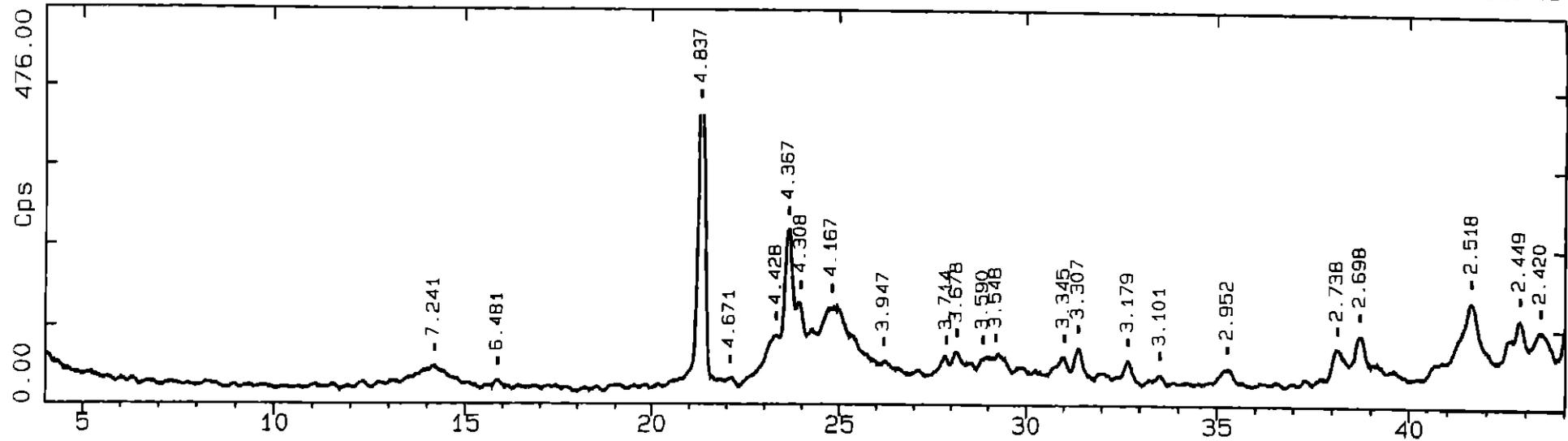
Step size : 0.020 Time/step : 1.0

Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.122	7.2765	45.35	11.43
2	15.867	6.4805	27.95	7.04
3	21.313	4.8372	396.89	100.00
4	23.311	4.4276	83.72	21.09
5	23.641	4.3665	208.34	52.49
6	23.965	4.3084	120.16	30.28
7	24.792	4.1669	116.45	29.34
8	27.735	3.7321	52.34	13.19
9	28.084	3.6866	60.20	15.17
10	28.852	3.5905	56.23	14.17
11	29.271	3.5402	62.02	15.63
12	31.016	3.3455	58.75	14.80
13	31.383	3.3073	70.10	17.66
14	32.686	3.1788	54.55	13.74
15	33.529	3.1011	38.04	9.59
16	35.273	2.9523	46.05	11.60
17	38.129	2.7385	70.80	17.84
18	38.721	2.6982	87.52	22.05
19	41.608	2.5185	128.86	32.47
20	42.847	2.4489	108.66	27.38
21	43.377	2.4204	95.08	23.96
22	44.072	2.3841	108.34	27.30
23	46.094	2.2848	44.94	11.32
24	46.968	2.2447	63.98	16.12
25	47.839	2.2061	61.55	15.51
26	48.871	2.1623	69.12	17.42
27	50.771	2.0865	37.92	9.55
28	51.874	2.0451	61.55	15.51
29	53.350	1.9925	60.33	15.20
30	55.714	1.9143	43.68	11.01
31	57.613	1.8564	31.13	7.84
32	57.962	1.8461	33.28	8.39
33	59.521	1.8020	53.34	13.44
34	61.483	1.7499	55.86	14.07
35	62.639	1.7208	45.62	11.49
36	63.686	1.6954	66.63	16.79
37	64.105	1.6855	68.63	17.29
38	67.735	1.6051	39.13	9.86
39	73.878	1.4884	58.56	14.75
40	75.779	1.4565	60.73	15.30
41	76.812	1.4399	42.86	10.80
42	78.764	1.4098	36.09	9.09

2-Theta - Scale

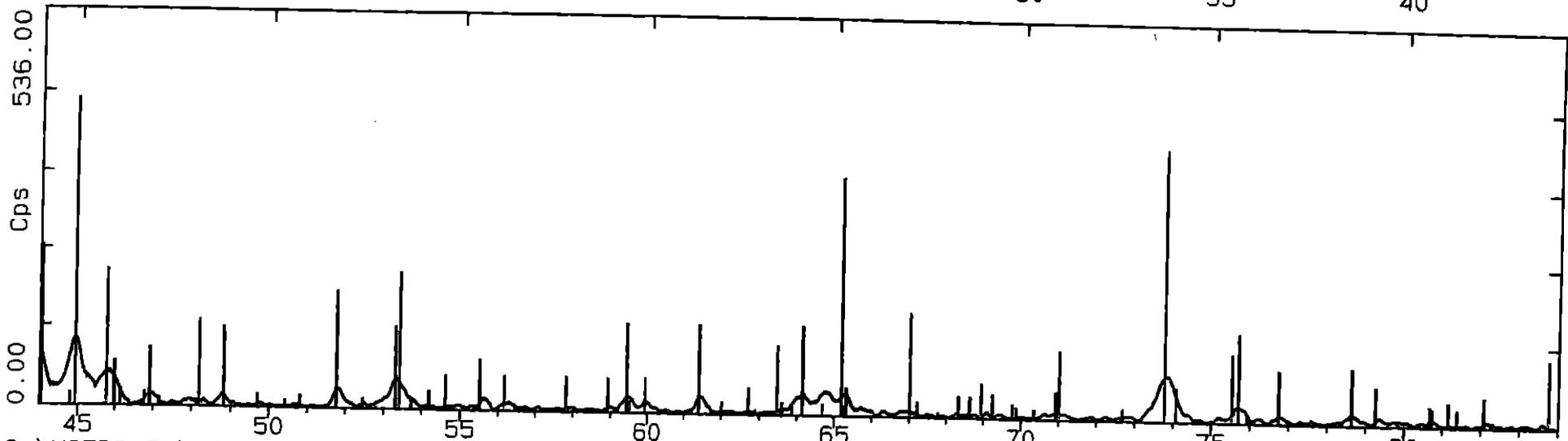
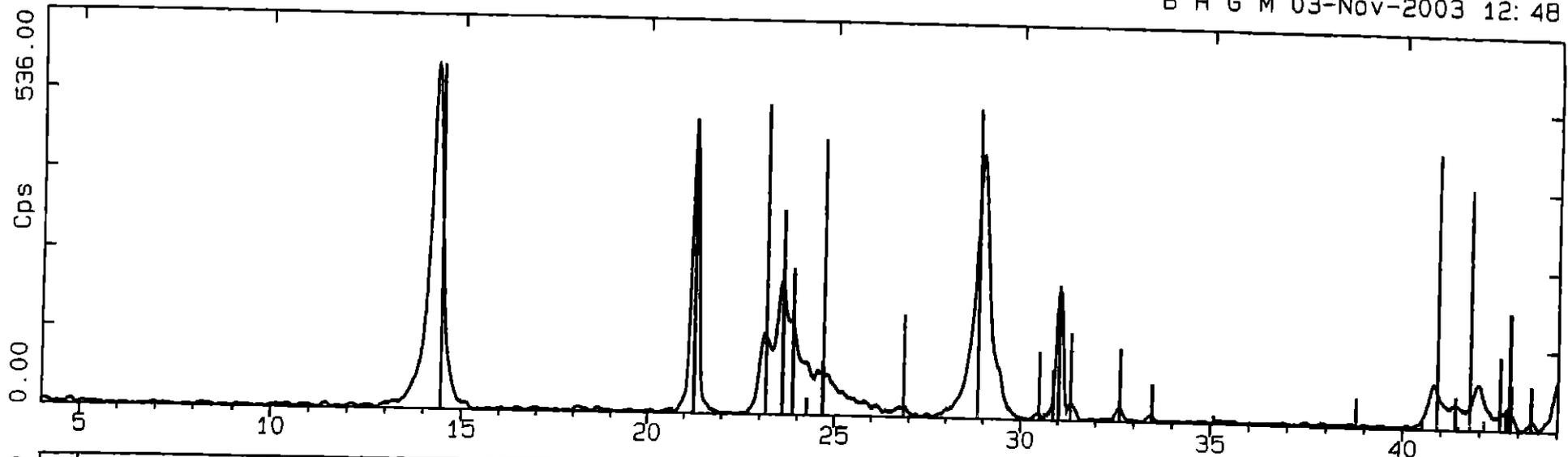
B R G M 31-Oct-2003 16: 41



C:\USERDATA\18283.RAW 18283 BRAS PANON (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

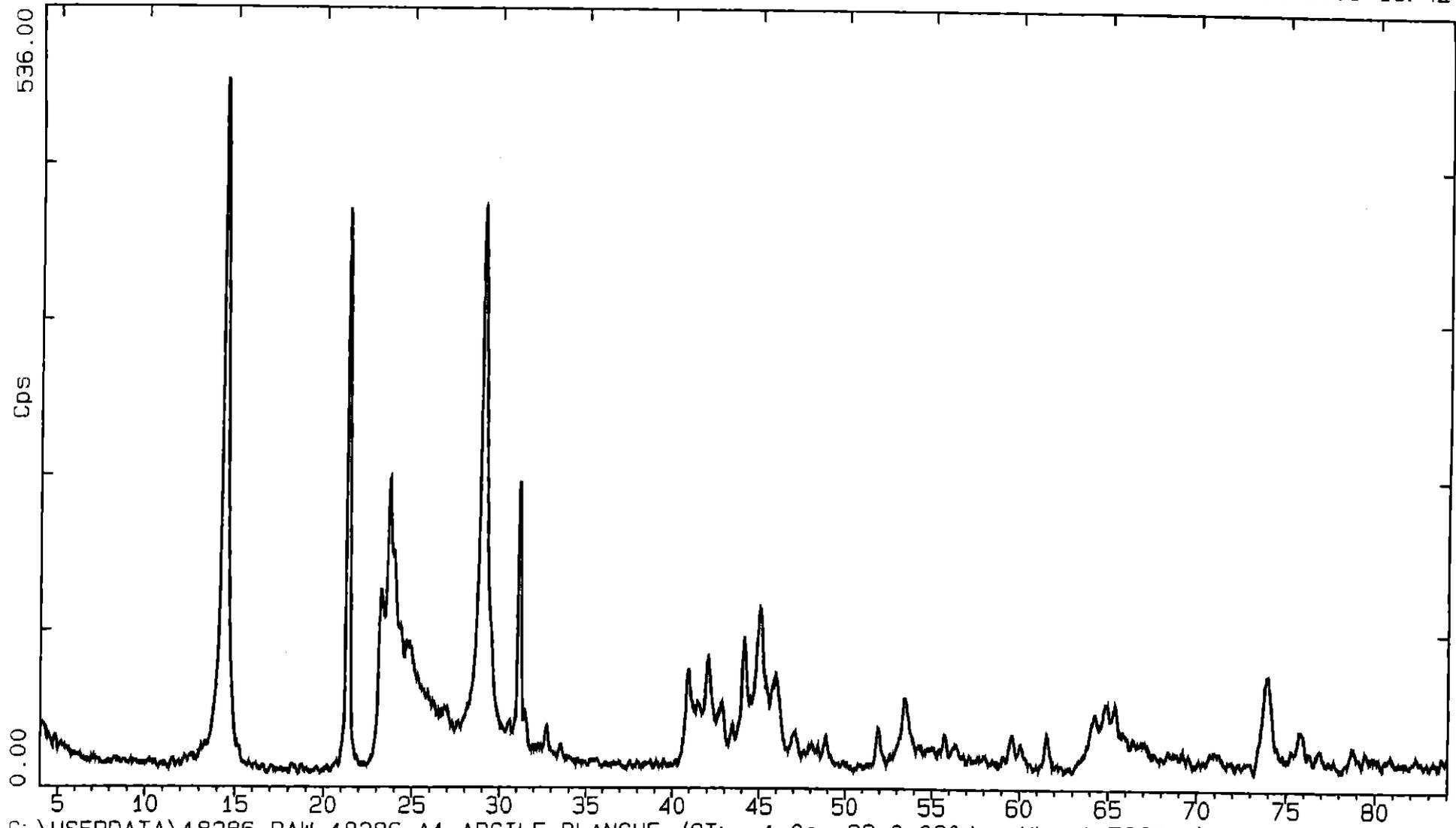
B R G M 03-Nov-2003 12:48



C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
19-0629 \* FeFe2O4 Magnetite, syn (WL: 1.7890Ao)  
29-0713 I FeO(OH) Goethite (WL: 1.7890Ao)  
3-0052 D Al2O3.2SiO2.2H2O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 31-Oct-2003 16: 42



C:\USERDATA\18286.RAW 18286 A1 ARGILE BLANCHE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:50:10

Dump of file: C:\USERDATA\18287.DIF (03-Nov-2003 10:40:56)

Sample name : 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (03-Oct-2003 21:15:52)

D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

Step size : 0.020 Time/step : 1.0

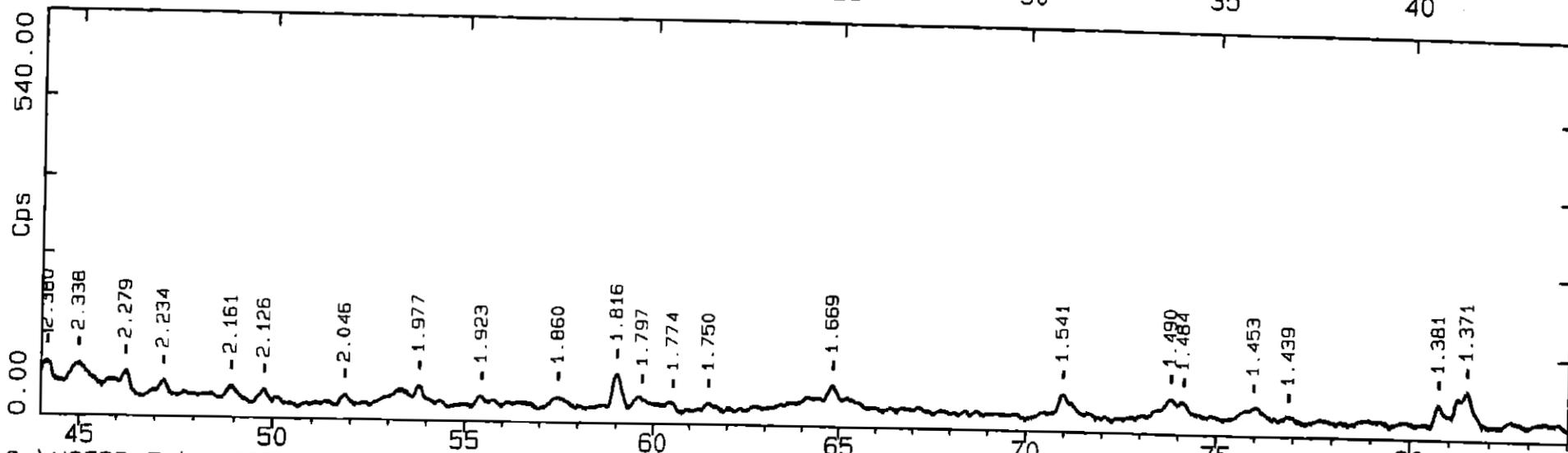
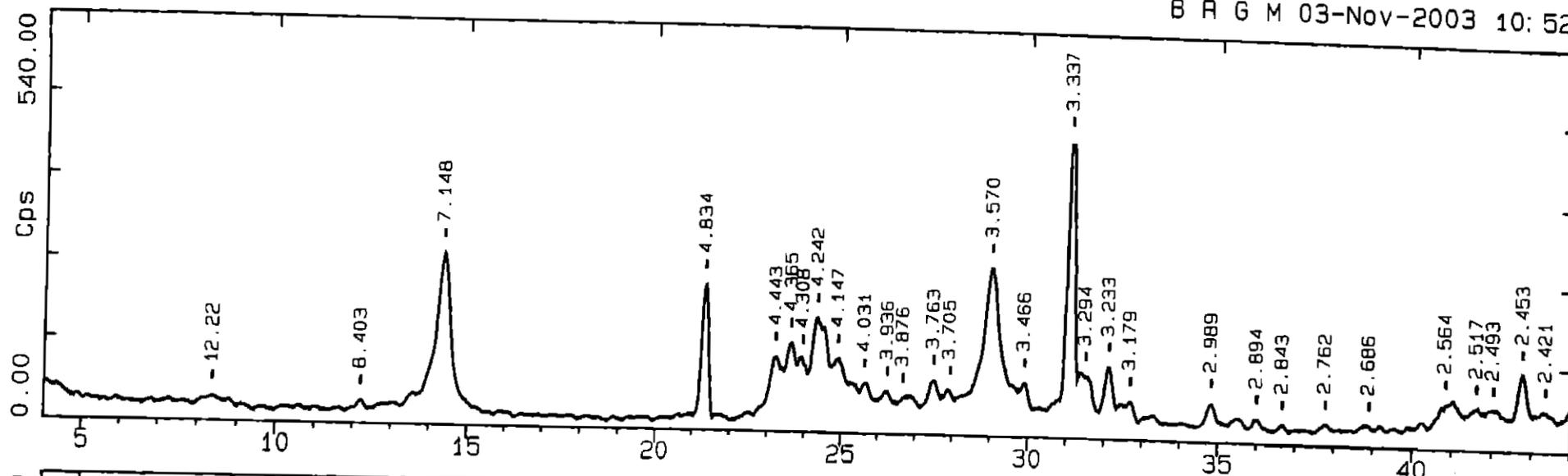
Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	8.398	12.2164	31.52	7.36
2	12.222	8.4027	29.68	6.93
3	14.377	7.1482	226.92	52.98
4	21.328	4.8338	192.18	44.87
5	23.229	4.4430	97.68	22.81
6	23.649	4.3652	116.61	27.23
7	23.965	4.3084	95.09	22.20
8	24.348	4.2417	151.04	35.27
9	24.915	4.1466	97.37	22.74
10	25.640	4.0312	65.24	15.23
11	26.269	3.9364	55.85	13.04
12	26.688	3.8757	47.41	11.07
13	27.502	3.7630	72.09	16.83
14	27.944	3.7047	58.46	13.65
15	29.022	3.5699	224.09	52.32
16	29.911	3.4661	71.48	16.69
17	31.093	3.3374	428.28	100.00
18	31.516	3.2937	81.60	19.05
19	32.120	3.2333	95.50	22.30
20	32.688	3.1786	50.67	11.83
21	34.823	2.9893	51.35	11.99
22	36.005	2.8942	32.28	7.54
23	36.670	2.8435	25.82	6.03
24	37.787	2.7624	27.88	6.51
25	38.904	2.6860	27.67	6.46
26	40.840	2.5637	59.17	13.82
27	41.627	2.5174	54.19	12.65
28	42.045	2.4934	52.37	12.23
29	42.774	2.4529	102.01	23.82
30	43.372	2.4207	52.82	12.33
31	44.147	2.3803	69.74	16.28
32	44.982	2.3383	67.78	15.83
33	46.229	2.2785	57.67	13.47
34	47.207	2.2339	45.55	10.64
35	48.913	2.1606	40.02	9.34
36	49.772	2.1256	35.67	8.33
37	51.854	2.0458	31.47	7.35
38	53.802	1.9770	44.38	10.36
39	55.449	1.9227	31.62	7.38
40	57.480	1.8603	32.59	7.61
41	59.021	1.8159	62.99	14.71
42	59.707	1.7969	30.89	7.21

43	60.545	1.7744	25.53	5.96
44	61.491	1.7497	26.19	6.11
45	64.816	1.6690	53.28	12.44
46	70.976	1.5408	48.07	11.22
47	73.808	1.4896	45.75	10.68
48	74.157	1.4836	41.46	9.68
49	75.972	1.4533	36.68	8.56
50	76.880	1.4388	24.91	5.82
51	80.718	1.3813	46.03	10.75
52	81.429	1.3713	63.08	14.73

2-Theta - Scale

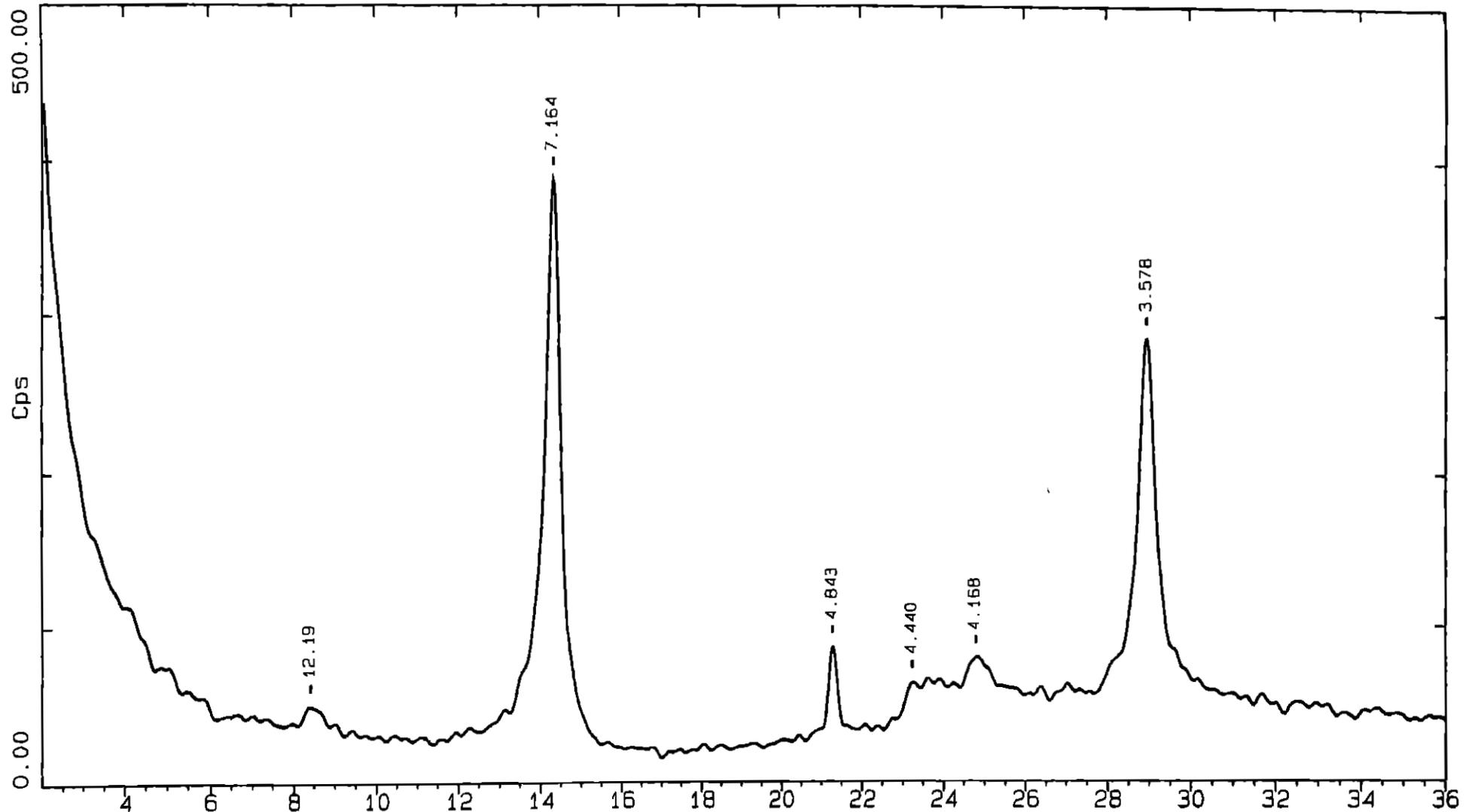
B R G M 03-Nov-2003 10:52



C:\USERDATA\18287.RAW 18287 A2 ARGILE OCRE BRUNE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

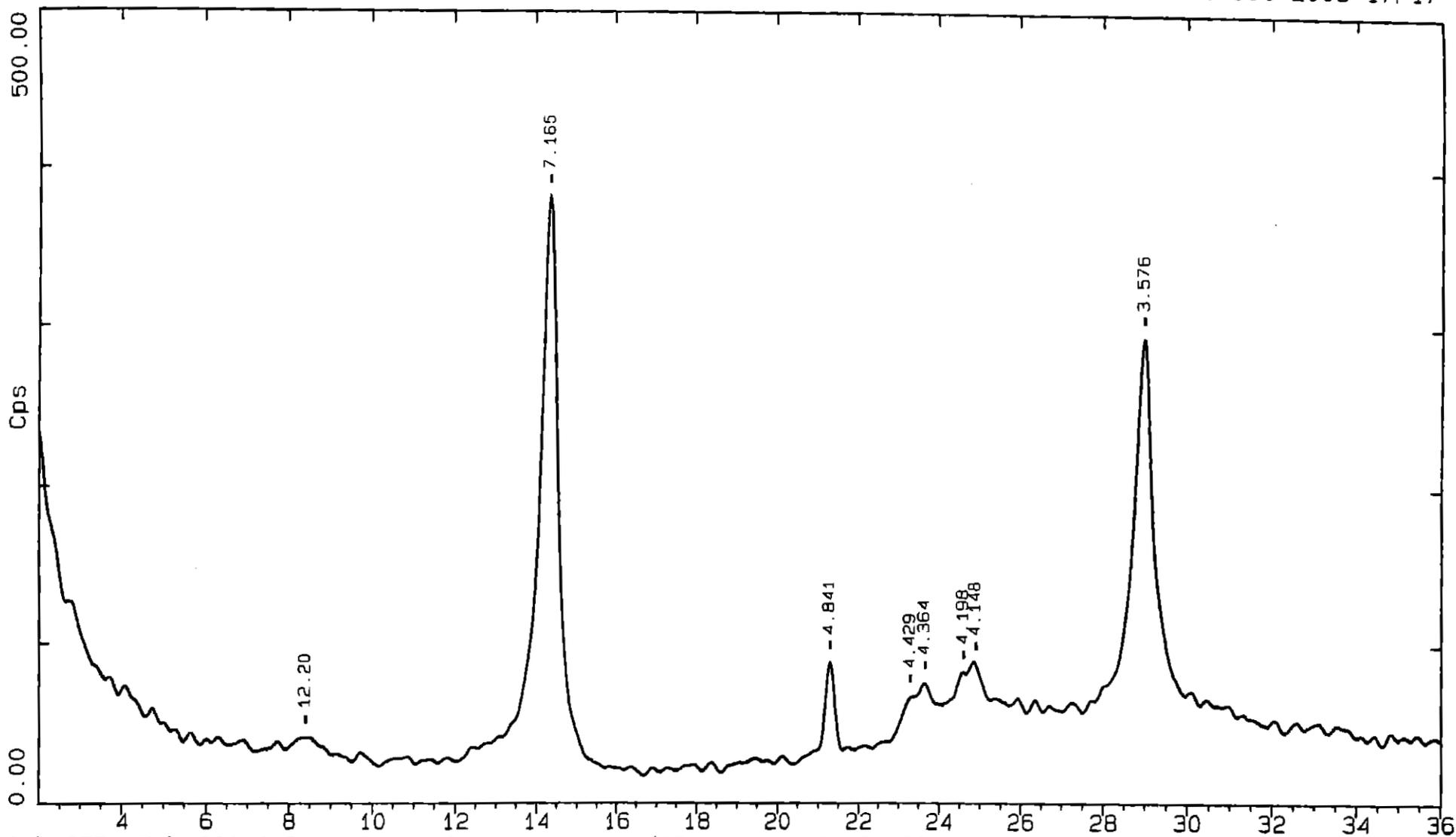
B R G M 29-Oct-2003 17:19



C:\USERDATA\18287N.RAW A2 Argile ocre brune (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

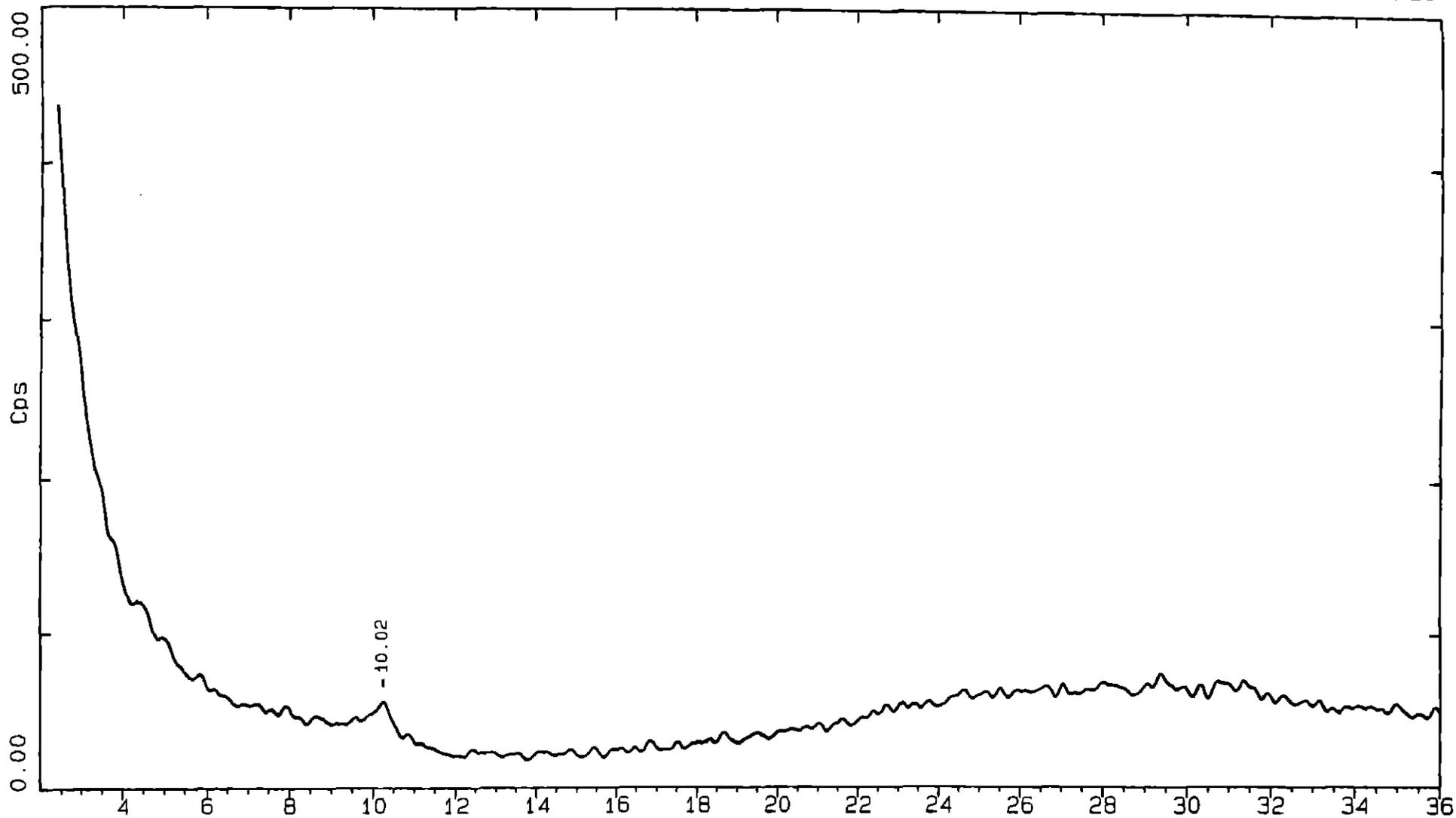
B R G M 29-Oct-2003 17:17



C:\USERDATA\18287G.RAW A2 argile ocre brune (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

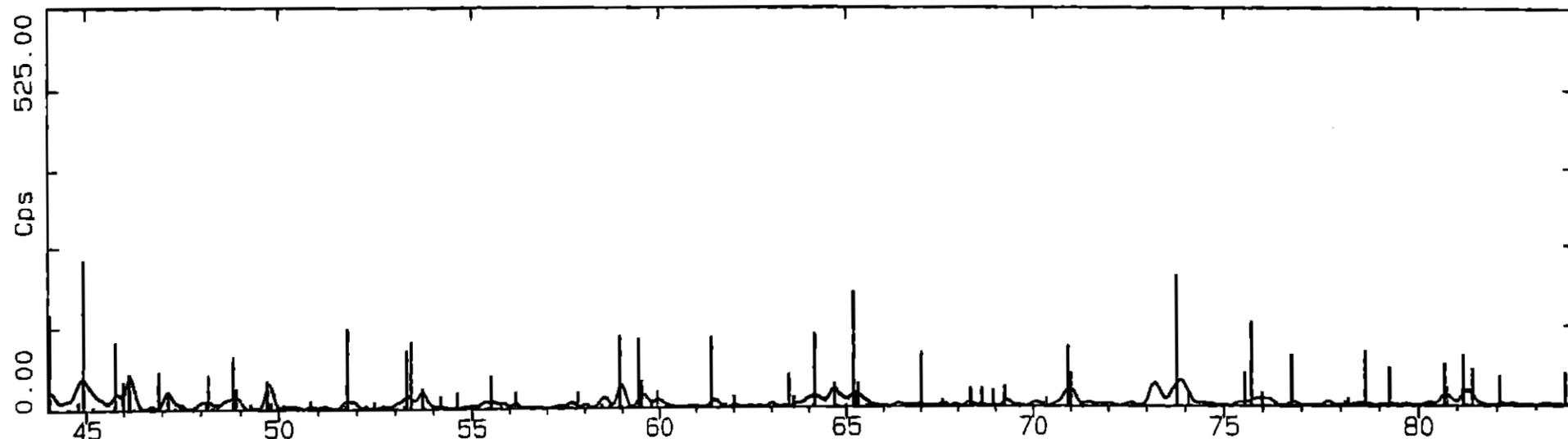
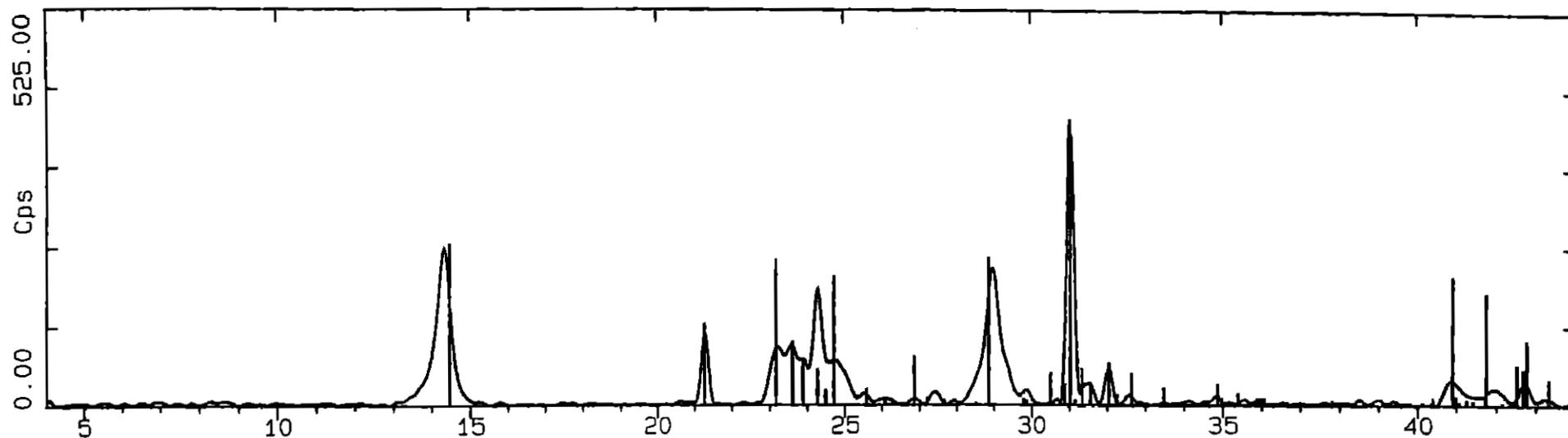
B R G M 29-Oct-2003 17:20



C:\USERDATA\18287C.RAW A2 argile ocre brune (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

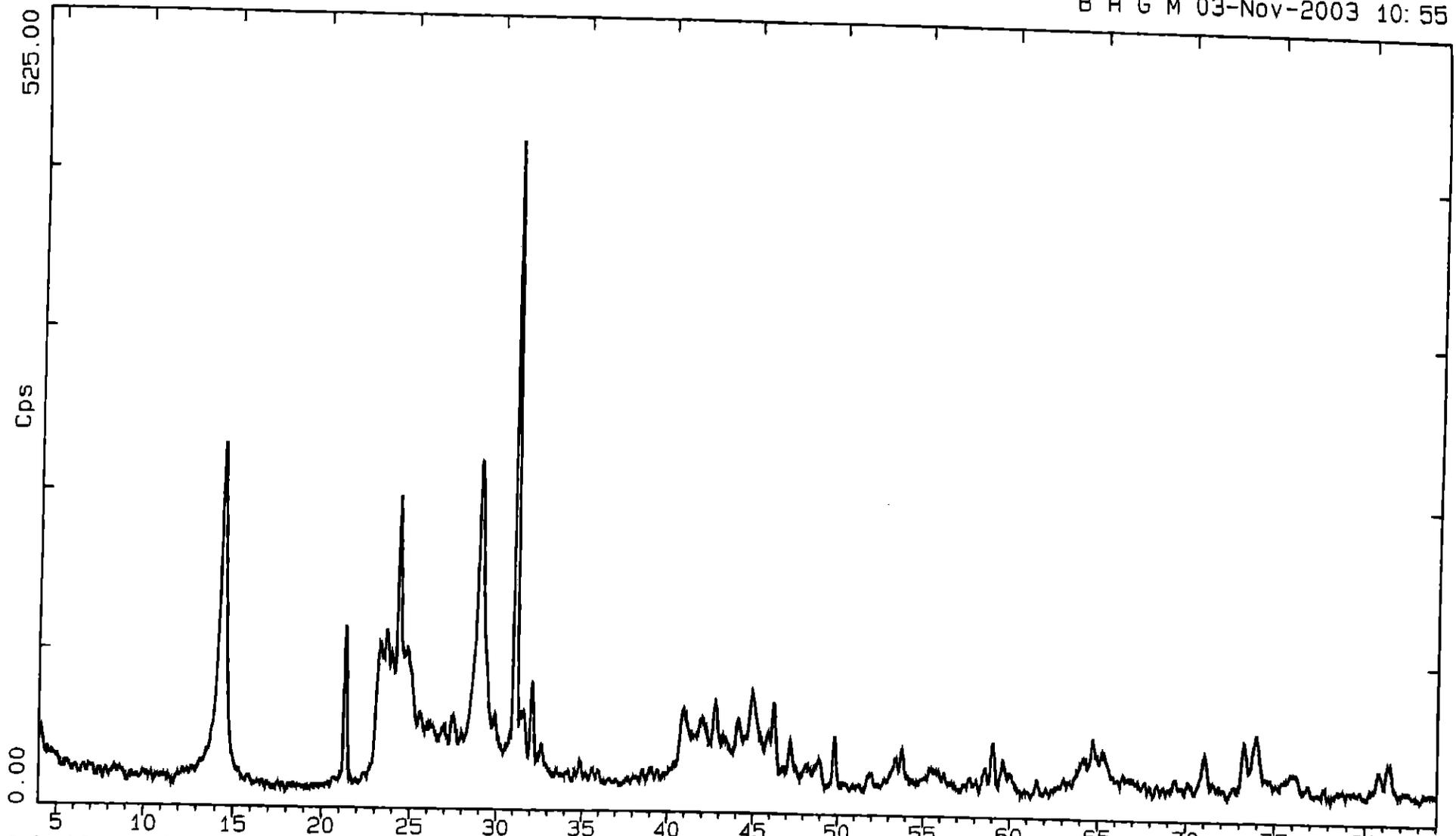
B R G M 03-Nov-2003 12:52



C:\USERDATA\18288.RAW 18288 A3 ARGILE OCRE (CT: 1.0s, SS:0.020dg, WL: 1.7890Ao)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
19-0932 I KAlSi3O8 Microcline, intermediate (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
3-0052 D Al2O3.2SiO2.2H2O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)  
39-1425 \* SiO2 Cristobalite, syn (WL: 1.7890Ao)  
41-1370 \* Ca (Mg, Al) (Si, Al)2O6 Diopside (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:55



C:\USERDATA\18288.RAW 18288 A3 ARGILE OCRE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

DIFFRAC / AT -- PRINTDIF V1.0 \*\*\* 03-Nov-2003 10:51:52

Dump of file: C:\USERDATA\18288.DIF (03-Nov-2003 10:42:32)

Sample name : 18288 A3 ARGILE OCRE (03-Oct-2003 22:23:20)

D5MEAS - Program:DEFAULT.DQL

Wavelength 1: 1.78897

Wavelength 2: 1.79285

Range # 1

Raw data measured from 2 theta = 4.000 to 84.000

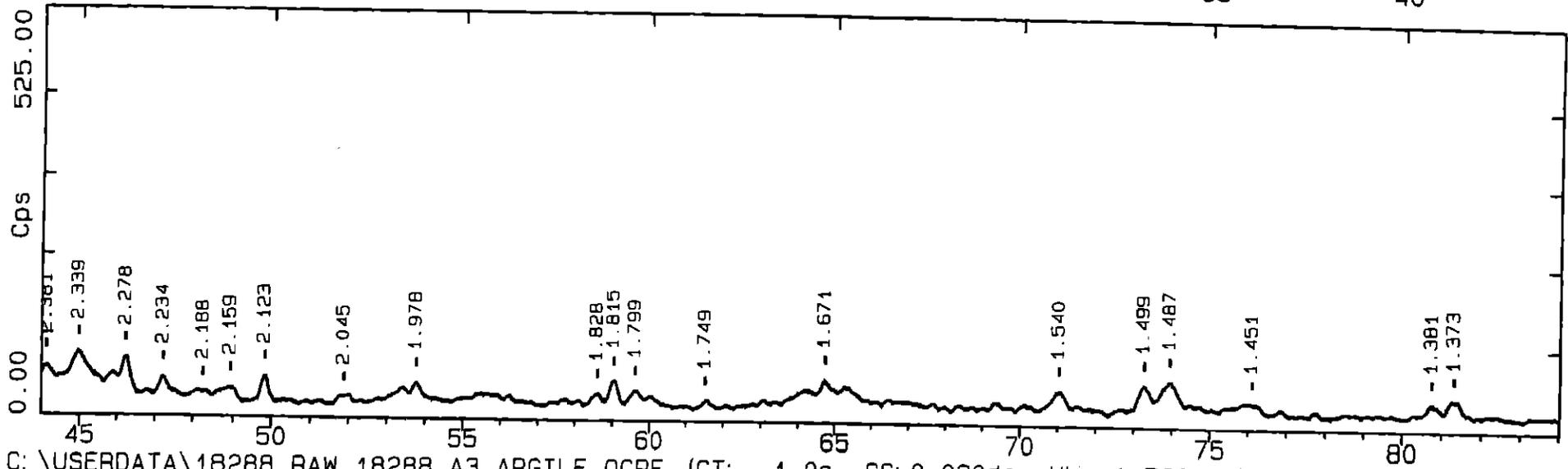
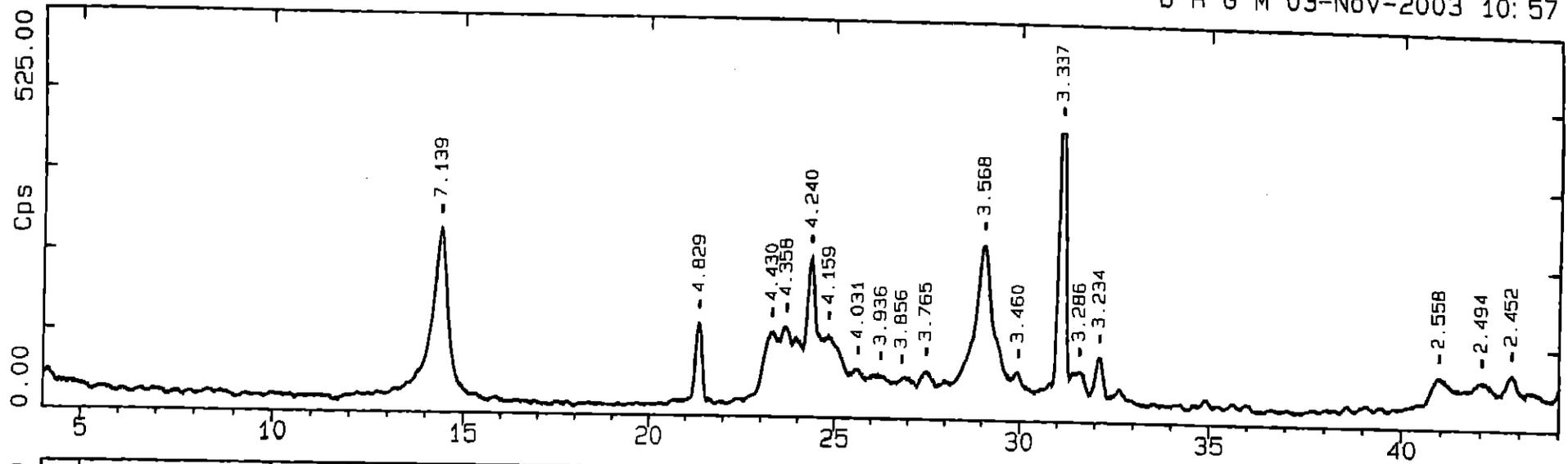
Step size : 0.020 Time/step : 1.0

Peak width: 0.300 Threshold : 1.0

-N-	2 theta	---d---	---Cps---	---%---
1	14.396	7.1387	240.33	54.45
2	21.351	4.8286	120.29	27.25
3	23.297	4.4302	110.67	25.07
4	23.686	4.3585	116.98	26.50
5	24.355	4.2404	208.22	47.17
6	24.838	4.1593	107.60	24.38
7	25.640	4.0312	62.91	14.25
8	26.269	3.9364	56.10	12.71
9	26.827	3.8559	52.18	11.82
10	27.490	3.7647	62.58	14.18
11	29.036	3.5682	230.33	52.18
12	29.969	3.4596	62.74	14.21
13	31.101	3.3366	441.41	100.00
14	31.593	3.2859	66.27	15.01
15	32.112	3.2341	84.72	19.19
16	40.940	2.5578	67.94	15.39
17	42.030	2.4943	63.37	14.36
18	42.795	2.4517	73.71	16.70
19	44.128	2.3812	63.08	14.29
20	44.976	2.3386	80.49	18.23
21	46.230	2.2785	73.28	16.60
22	47.216	2.2336	49.02	11.11
23	48.258	2.1881	30.05	6.81
24	48.940	2.1594	36.47	8.26
25	49.833	2.1232	51.80	11.74
26	51.888	2.0446	25.75	5.83
27	53.775	1.9779	44.62	10.11
28	58.602	1.8277	32.60	7.39
29	59.048	1.8152	49.04	11.11
30	59.624	1.7992	37.06	8.40
31	61.522	1.7489	23.98	5.43
32	64.733	1.6709	53.02	12.01
33	71.036	1.5397	43.71	9.90
34	73.274	1.4989	52.80	11.96
35	73.962	1.4870	58.18	13.18
36	76.112	1.4511	30.67	6.95
37	80.753	1.3808	35.02	7.93
38	81.321	1.3728	38.75	8.78

2-Theta - Scale

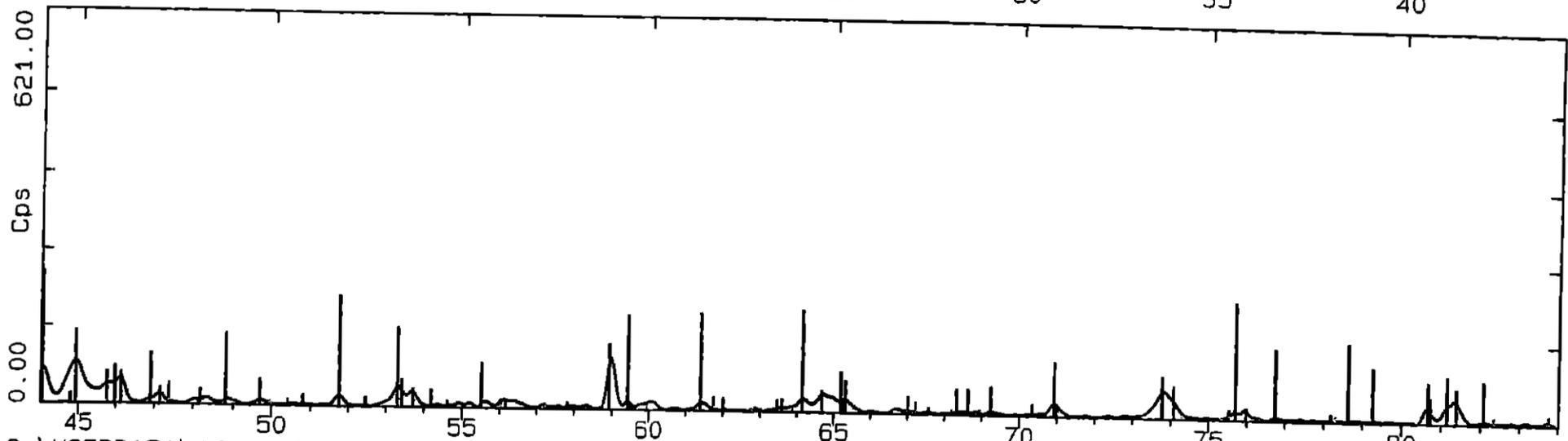
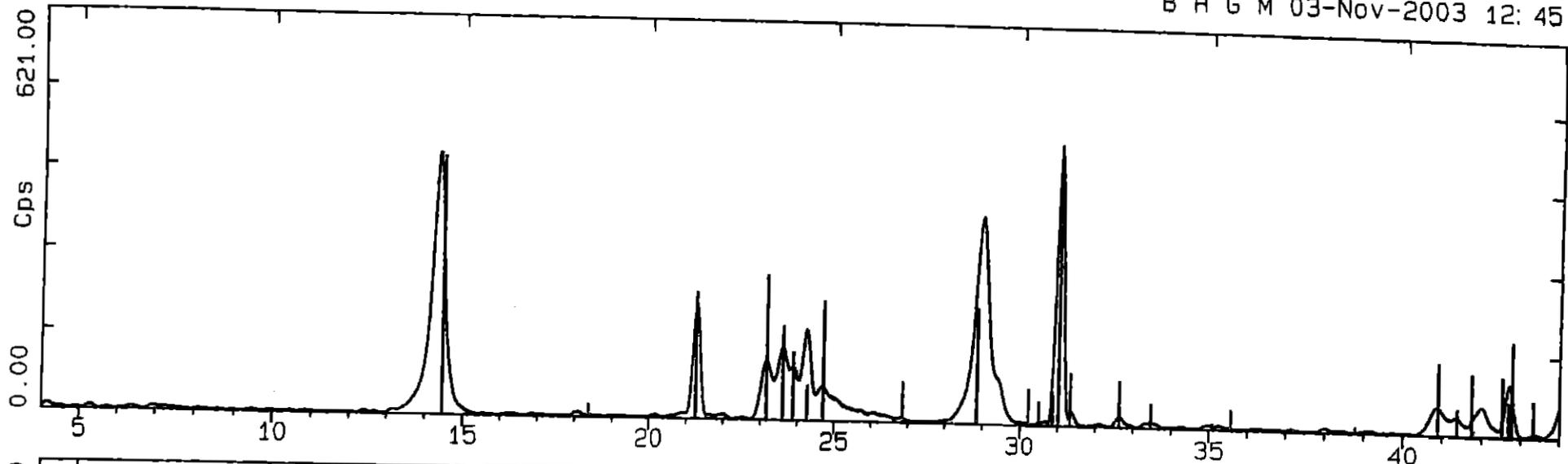
B R G M 03-Nov-2003 10:57



C:\USERDATA\18288.RAW 18288 A3 ARGILE OCRE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

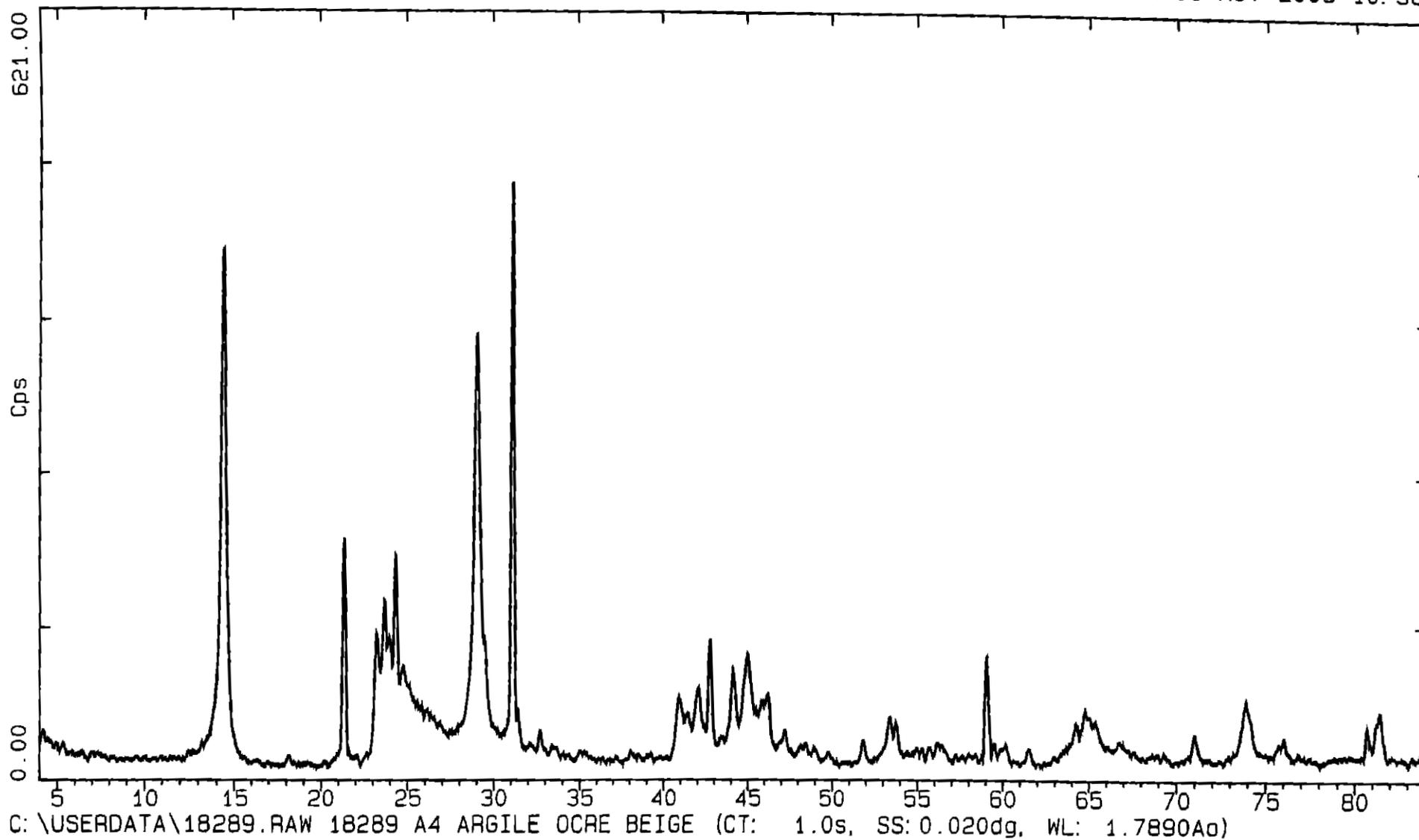
B R G M 03-Nov-2003 12: 45



C:\USERDATA\18289.RAW 18289 A4 ARGILE OCRE BEIGE (CT: 1.0s, SS: 0.020dg, WL: 1.7890Ao, DX: -.073)  
46-1045 \* SiO2 Quartz, syn (WL: 1.7890Ao)  
33-0018 I Al(OH)3 Gibbsite, syn (WL: 1.7890Ao)  
3-0052 D Al2O3.2SiO2.2H2O Kaolinite (WL: 1.7890Ao)  
19-0629 \* FeFe2O4 Magnetite, syn (WL: 1.7890Ao)  
19-1180 Na(Si2Al)O6.H2O Analcime-0 (WL: 1.7890Ao)

2-Theta - Scale

B R G M 03-Nov-2003 10:58



## **Annexe 2.2 : Analyses chimiques**



**Chef du service : A.M. FOUILLAC**  
**Correspondant Qualité : C. LEDUC**  
**Coordination des analyses : A. GADALIA**

**Unité Chimie minérale des solides : D. MARTINEAU**  
**Unité Chimie des micropolluants organiques : L. AMALRIC**  
**Unité Chimie des eaux : J.P. GHESTEM**  
**Unité Chimie isotopique : J.P. GIRARD**



<b>Demandeur</b>	<b>LE BERRE</b>
	<b>SGR/BRE</b>
<b>Provenance des échantillons</b>	
<b>Nature des prélèvements</b>	<b>ARGILES</b>
<b>N° ANA</b>	<b>J6024A</b>
<b>N° de demande</b>	<b>2511577</b>
<b>N° d'affaire</b>	
<b>N° de compte</b>	<b>TACHE</b>

**Laboratoire**    **Analyse chimique par fluorescence X**

**Responsable**    **D. MARTINEAU**

**Téléphone : (33) 02 38 64 30 17**

**Télécopie : (33) 02 38 64 39 25**

**Résultats certifiés par le(s) responsable(s) de laboratoire    le : 23-OCT-03**

Visa    A. Gadalia

**->> ATTENTION AUX INFORMATIONS PORTEES PAGE(S) SUIVANTE(S).**

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le laboratoire : **Analyse chimique par fluorescence X**

Le mode opératoire MO005 Analyses par Spectrométrie de Fluorescence X  
est utilisé pour doser :

Alumine  
Oxyde de Calcium  
Fer total exprimé en Fe2O3  
Oxyde de Potassium  
Oxyde de Magnésium  
Oxyde de Manganèse  
Oxyde de Sodium  
Phosphates en P2O5  
Silice  
Oxyde de Titane

Le mode opératoire MO011 Mesure de la perte au feu à 1000°C  
est utilisé pour doser :  
Perte au feu à 1000°C

**Commentaire du laboratoire : Les résultats sont exprimés sur produit séché à 105°C.**

**RESULTATS :** Sauf remarque particulière, les résultats sont exprimés en valeurs pondérales sur produit brut. FE2O3 seul est la teneur en fer total dans l'échantillon, exprimé sous forme d'oxyde. Fe2O3 exprime la teneur en fer ferrique de l'échantillon lorsque le fer ferreux est dosé (exprimé sous la forme FeO). La précision moyenne pour les éléments majeurs est de 2% relative en milieu de gamme. La précision moyenne pour les éléments trace est de 10% relative en milieu de gamme.

	Alumine	Fer total exprimé en Fe2O3	Oxyde de Calcium	Oxyde de Magnésium	Oxyde de Manganèse	Oxyde de Potassium	Oxyde de Sodium
Unité	%	%	%	%	%	%	%
LDI	0.2	0.05	0.1	0.2	0.02	0.05	0.2

Identification

Labo	Client	Alumine	Fer total exprimé en Fe2O3	Oxyde de Calcium	Oxyde de Magnésium	Oxyde de Manganèse	Oxyde de Potassium	Oxyde de Sodium
1	A-1	41.2	1.02	< 0.1	< 0.2	< 0.02	< 0.05	< 0.2
2	A-2	26.6	7.6	0.4	0.5	0.04	1.93	0.6
3	A-3	28.1	6.9	0.1	0.2	0.05	1.08	< 0.2
4	A-4	29.2	2.78	< 0.1	< 0.2	0.03	0.08	< 0.2
5	Savana	12.4	12.9	9.0	9.1	0.20	0.88	2.1
6	Quartier Francais	22.4	20.0	2.0	1.4	0.19	0.90	1.7
7	Bras Panon	30.1	29.6	0.1	0.4	0.14	< 0.05	< 0.2

LDI : Limite Inférieure de dosabilité

	Oxyde de Titane	Perte au feu à 1000°C	Phosphates en P2O5	Silice
Unité	%	%	%	%
LDI	0.05	0.1	0.05	0.2

Identification

Labo	Client				
1	A-1	1.00	17.2	0.17	38.1
2	A-2	1.66	10.5	0.16	49.0
3	A-3	1.00	12.4	0.09	48.8
4	A-4	2.40	12.8	0.15	51.3
5	Savana	2.48	3.53	0.30	46.7
6	Quartier Francais	5.36	10.4	0.46	34.5
7	Bras Panon	5.34	18.2	0.17	14.8

LDI : Limite Inférieure de dosabilité



Géosciences pour une Terre durable

# brgm

Chef du service : **A.M. FOUILLAC**  
Correspondant Qualité : **C. LEDUC**  
Coordination des analyses : **A. GADALIA**

Unité Chimie minérale des solides : **D. MARTINEAU**  
Unité Chimie des micropolluants organiques : **L. AMALRIC**  
Unité Chimie des eaux : **J.P. GHESTEM**  
Unité Chimie isotopique : **J.P. GIRARD**

## RAPPORT D'ANALYSES

<b>Demandeur</b>	<b>HAAS</b>
	<b>ANA</b>
<b>Provenance des échantillons</b>	
<b>Nature des prélèvements</b>	<b>ARGILE</b>
<b>N° ANA</b>	<b>J6027A</b>
<b>N° de demande</b>	<b>2511727</b>
<b>N° d'affaire</b>	
<b>N° de compte</b>	<b>TACHE</b>

*Laboratoire* **Analyse chimique par fluorescence X**

*Responsable* **D. MARTINEAU**

Téléphone : (33) 02 38 64 30 17

Télécopie : (33) 02 38 64 39 25

*Résultats certifiés par le(s) responsable(s) de laboratoire le : 07-JAN-04*

Visa **A. Gadalia**

**-> -> ATTENTION AUX INFORMATIONS PORTEES PAGE(S) SUIVANTE(S).**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.

La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15 - France  
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

**brgm** Établissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

Centre scientifique et technique

3, avenue Claude-Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2 - France  
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02 38 64 35 18

Nb Pages ...**3**

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le laboratoire : **Analyse chimique par fluorescence X**

Le mode opératoire **MO005** Analyses par Spectrométrie de Fluorescence X

est utilisé pour doser :

**Alumine**

**Oxyde de Calcium**

**Fer total exprimé en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>**

**Oxyde de Potassium**

**Oxyde de Magnésium**

**Oxyde de Manganèse**

**Oxyde de Sodium**

**Phosphates en P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>**

**Silice**

**Oxyde de Titane**

Le mode opératoire **MO011** Mesure de la perte au feu à 1000°C

est utilisé pour doser :

**Perte au feu à 1000°C**

#### **Commentaire du laboratoire : Résultat sur produit sec.**

**RESULTATS** : Sauf remarque particulière, les résultats sont exprimés en valeurs pondérales sur produit brut. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seul est la teneur en fer total dans l'échantillon, exprimé sous forme d'oxyde. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> exprime la teneur en fer ferrique de l'échantillon lorsque le fer ferreux est dosé (exprimé sous la forme FeO). La précision moyenne pour les éléments majeurs est de 2% relative en milieu de gamme. La précision moyenne pour les éléments trace est de 10% relative en milieu de gamme.

## Identification

Labo	1
Client	A5

## Unité

	Unité	LDI	0.2		
Alumine	%	LDI	0.2		2.0
Fer total exprimé en Fe2O3	%	LDI	0.05		0.85
Oxyde de Calcium	%	LDI	0.1		0.1
Oxyde de Magnésium	%	LDI	0.2	<	0.2
Oxyde de Manganèse	%	LDI	0.02		0.03
Oxyde de Potassium	%	LDI	0.05		0.60
Oxyde de Sodium	%	LDI	0.2		0.2
Oxyde de Titane	%	LDI	0.05		0.74
Perte au feu à 1000°C	%	LDI	0.1		0.60
Phosphates en P2O5	%	LDI	0.05	<	0.05
Silice	%	LDI	0.2		94.7

LDI : Limite Inférieure de dosabilité



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**RAPPORT D'ESSAIS**

**03-6-015-D**

<b>Provenance :</b> ARGILES LA REUNION/MADAGASCAR	<b>Demandeur :</b> HAAS Hubert
<b>Nature échantillon :</b> ROCHE	<b>Adresse:</b> ANA/CMI
<b>Nombre:</b> 1	5, rue Sainte-Anne B.P. 906
<b>Echantillons réceptionnés le :</b> 11/12/2003	97478 SAINT DENIS CEDEX France
<b>Analyses commencées le :</b> 07/01/04	
<b>Référence commande :</b>	

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Analyse chimique élémentaire et par fluorescence X	D.MARTINEAU
Réception et préparation des échantillons	P.PORTUGUES

Résultats validés par le(s) responsable(s) de laboratoire

**Visa:** A.GADALIA                      Coordonnateur des analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17      Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 14-JAN-2004

Nombre de pages: 3

**>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.  
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**Siège**  
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France  
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

**Centre scientifique**  
3, avenue Claude-Guillemain, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2 - France  
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02

**brgm** Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**brgm**  
**LISTE DES MODES OPERATOIRES**

Id soumission : 100002111

Rapport d'essais : 03-6-015-D

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le laboratoire : Analyse chimique élémentaire et par fluorescence X

Le mode opératoire est utilisé pour doser : Cl (Chlore)	<b>MO007</b>	Analyses Ag-Ba-Cu-Fe-Pb-Sr-Zn (absorption atomique); Cl (potentiométrie); Fe (volumétrie); S-So-SO4-St-Ba (gravimétrie).
Le mode opératoire est utilisé pour doser : St (Soufre total)	<b>MO009</b>	Analyse des Roches Al-Ca-Fe-K-Mg-Mn-Na (absorption atomique); Ca-Mg-FeO (volumétrie); Cl (potentiométrie); F (ionométrie); SiO2 (spectrophotométrie); Ct-St (Leco).
Le mode opératoire est utilisé pour doser : F (Fluor)	<b>MO105</b>	Dosage du Fluor après mise en solution par frittage alcalin (ionométrie).
Le mode opératoire est utilisé pour doser : C.or (Carbone organique)	<b>NF ISO 10694</b>	Dosage du carbone organique et du carbone total.

**Commentaire du laboratoire :**

**Les résultats sont exprimés sur produit séché à 105°C.**

**Commentaire général :**

Tout échantillon concernant des études d'environnement est détruit un mois après la remise des résultats sauf demande du client

**UNITES :** Elles peuvent être différentes selon les éléments :

g/l, mg/l, µg/l (1µg/l=0.001mg/l),

%(pourcentage massique),

g/t=mg/Kg(1mg/Kg=0.0001%), mg/t=µg/Kg(1µg/Kg=0.001mg/Kg),

µ=microgramme, t=tonne

Id soumission : 100002111

Rapport d'essais : 03-6-015-D

Elément	Unité	LQ*	Lims
			Labo Client
			200013620 1 Savana
Cl (Chlore)	%	0.01	0.02
C.or (Carbone organique)	%	0.05	0.13
F (Fluor)	mg/Kg	50	410
St (Soufre total)	%	0.01	< 0.01

\*LQ : Limite de quantification

**FIN DU RAPPORT D'ESSAI**



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**RAPPORT D'ESSAIS**

**03-6-015-E**

<b>Provenance :</b> ARGILES LA REUNION/MADAGASCAR	<b>Demandeur :</b> HAAS Hubert
<b>Nature échantillon :</b> ROCHE <b>Nombre:</b> 1	<b>Adresse:</b> ANA/CMI 5, rue Sainte-Anne B.P. 906  97478 SAINT DENIS CEDEX France
<b>Echantillons réceptionnés le :</b> 11/12/2003	
<b>Analyses commencées le :</b> 16/01/04	
<b>Référence commande :</b>	

Nom du laboratoire	Responsable du laboratoire
Analyse chimique élémentaire et par fluorescence X	D.MARTINEAU
Réception et préparation des échantillons	P.PORTUGUES

Résultats validés par le(s) responsable(s) de laboratoire

**Visa:** A.GADALIA                      Coordonnateur des analyses

Téléphone: 02.38.64.30.17      Télécopie: 02.38.64.39.25

le : 23-JAN-2004

Nombre de pages: 3

**>>> ATTENTION AUX COMMENTAIRES DU LABORATOIRE**

Les résultats exprimés ne concernent que les échantillons soumis à essais.  
La reproduction de ce rapport d'essais n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

Siège  
Tour Mirabeau - 39-43, quai André-Citroën, 75739 Paris Cedex 15- France  
Tél. 01 40 58 89 00 - Fax 01 40 58 89 33

Centre scientifique  
3, avenue Claude-Guillemin, BP 6009, 45060 Orléans Cedex 2 - France  
Tél. 02 38 64 34 34 - Fax 02

brgm Etablissement public à caractère industriel et commercial - RCS 58 b 5614 Paris - SIRET 58205614900419

[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**brgm**  
**LISTE DES MODES OPERATOIRES**

Id soumission : 100002117

Rapport d'essais : 03-6-015-E

Les analyses suivantes ont été réalisées dans le laboratoire : Analyse chimique élémentaire et par fluorescence X

<b>Le mode opératoire MO005</b>	<b>Analyses par Spectrométrie de Fluorescence X</b>
est utilisé pour doser :	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumine)	CaO (Oxyde de Calcium)
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub> (Fer total exprimé en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	K <sub>2</sub> O (Oxyde de Potassium)
MgO (Oxyde de Magnésium)	MnO (Oxyde de Manganèse)
Na <sub>2</sub> O (Oxyde de Sodium)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Phosphates en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )
SiO <sub>2</sub> (Silice)	TiO <sub>2</sub> (Oxyde de Titane)
<b>Le mode opératoire MO011</b>	<b>Mesure de la perte au feu à 1000°C</b>
est utilisé pour doser :	
PF (Perte au feu à 1000°C)	

**Commentaire du laboratoire :**

**Les résultats sont exprimés sur produit séché à 105°C.**

Commentaire général :

RESULTATS : Sauf remarque particulière, les résultats sont exprimés en valeurs pondérales sur produit brut. FE<sub>2</sub>O<sub>3</sub> seul est la teneur en fer total dans l'échantillon, exprimé sous forme d'oxyde. Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> exprime la teneur en fer ferrique de l'échantillon lorsque le fer ferreux est dosé (exprimé sous la forme FeO). La précision moyenne pour les éléments majeurs est de 2% relative en milieu de gamme. La précision moyenne pour les éléments trace est de 10% relative en milieu de gamme.

Id soumission : 100002117

Rapport d'essais : 03-6-015-E

Elément	Unité	LQ*	Lims
			Labo
			Client
			200013652
			1
			Feldspath-F20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (Alumine)	%	0.2	14.5
CaO (Oxyde de Calcium)	%	0.1	6.8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3t</sub> (Fer total exprimé en Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	%	0.05	0.27
K <sub>2</sub> O (Oxyde de Potassium)	%	0.05	9.15
MgO (Oxyde de Magnésium)	%	0.2	4.5
MnO (Oxyde de Manganèse)	%	0.02	< 0.02
Na <sub>2</sub> O (Oxyde de Sodium)	%	0.2	1.9
PF (Perte au feu à 1000°C)	%	0.1	8.90
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (Phosphates en P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	%	0.05	< 0.05
SiO <sub>2</sub> (Silice)	%	0.2	51.9
TiO <sub>2</sub> (Oxyde de Titane)	%	0.05	< 0.05

\* LQ : Limite de quantification

**FIN DU RAPPORT D'ESSAI**

## **Annexe 2.3 : Analyses granulométriques**

## RESULTATS DES ANALYSES GRANULOMETRIQUES

### 1 – DETERMINATION DE LA FRACTION < 50 µm DES MATERIAUX ARGILEUX

Un prélèvement des échantillons, dont la masse sèche a été déterminée, a été lavé sur un tamis de 50 µm.

La fraction de granulométrie supérieure à 50 µm a ensuite été séchée, et le résultat exprimé en pourcentage pondéral de la fraction supérieure à 50 µm par rapport à la masse totale sèche de l'échantillon, est présenté dans le tableau suivant :

Références Echantillons	Prise d'essai sèche (g)	Fraction > 50 µm %	Fraction < 50 µm %
A1 (Madagascar)	249,18	4,57	95,43
A2 (Madagascar)	251,53	28,39	71,61
A3 (Madagascar)	242,04	11,81	88,19
A4 (Madagascar)	209,09	20,20	79,80
Les Avirons	218,74	5,37	94,63
Savannah	229,88	35,44	64,56
Bassin Martin	228,78	2,29	97,71
Quartier Français	222,45	29,12	70,88
Bras Panon	218,73	6,19	93,81

## 2 – ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU SABLE A5 (Madagascar)

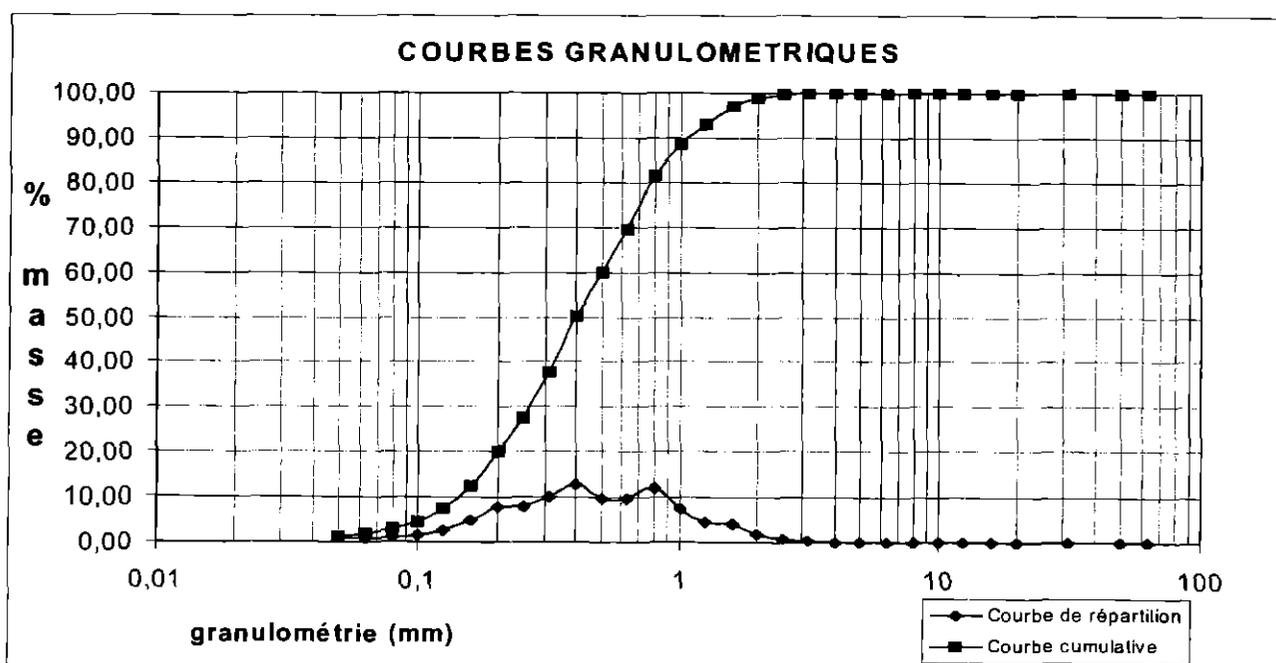
Pour la réalisation de l'analyse granulométrique, une prise de l'échantillon brut sec est effectuée.

Avant analyse, les échantillons sont dispersés avec un défloculant (hexamétaphosphate de sodium). L'ensemble est mis en agitation puis tamisé sur un tamis d'ouverture 50 µm. La fraction supérieure à 50 µm a été séchée puis traitée par tamisage en voie sèche

Les résultats complets des analyses et de leur représentation graphique sont présentés ci-dessous :

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
> à 5 mm	6,30000	0,00	100,00
de 4 à 5 mm	5,00000	0,00	100,00
de 3,15 à 4 mm	4,00000	0,04	100,00
de 2,5 à 3,15 mm	3,15000	0,26	99,96
de 2 à 2,5 mm	2,50000	0,90	99,70
de 1,6 à 2 mm	2,00000	1,79	98,80
de 1,25 à 1,6 mm	1,60000	3,93	97,01
de 1 à 1,25 mm	1,25000	4,43	93,08
de 0,8 à 1 mm	1,00000	7,32	88,64
de 630 à 800 µm	0,80000	11,78	81,33
de 500 à 630 µm	0,63000	9,79	69,55

Intervalle granulométrique	Granulométrie ( mm )	% dans l'intervalle	% cumulés
de 400 à 500 µm	0,50000	9,58	59,75
de 315 à 400 µm	0,40000	12,54	50,17
de 250 à 315 µm	0,31500	9,94	37,63
de 200 à 250 µm	0,25000	7,65	27,69
de 160 à 200 µm	0,20000	7,81	20,04
de 125 à 160 µm	0,16000	4,98	12,24
de 100 à 125 µm	0,12500	2,74	7,26
de 80 à 100 µm	0,10000	1,56	4,51
de 63 à 80 µm	0,08000	1,01	2,95
de 50 à 63 µm	0,06300	0,64	1,94
< 50 µm	0,05000	1,30	1,30



**Annexe 3 :  
Résultats des essais de cuisson**

**Annexe 3.1 : Essais de cuisson réalisés au brgm**

---

**Origine des échantillons :** Ile de la Réunion et Madagascar

**Identification des échantillons :**

**La Réunion :**

Les Avirons (argile),	Bras-Panon (argile),	Bassin Martin (argile),	Savannah (argile),
Quartier Français (argile),	Piton Villers (scories),	Saint-Pierre (tufs).	

**Madagascar :**

A1 (argile),	A2 (argile),	A3 (argile),	A4 (argile),
A5 (sable siliceux),	A6 (sable siliceux),	A7 (feldspath).	

---

**Nature des essais et documents de référence :**

- Préparation des échantillons bruts : séchage et broyage,
- Essais de cuisson à 4 températures sur des mélanges de matériaux façonnés par extrusion, avec mesure des paramètres d'évaluation

---

**Observations :**

Les matériaux originaires de La Réunion et utilisés pour les tests ont été fournis sous forme brute au laboratoire.

Les matériaux originaires de Madagascar, les argiles A1, A2, A3 et A4, ainsi que les deux échantillons A6 et A7 (PROCHIMAD), sont des matériaux ayant déjà subi une préparation. Seul le sable A5 est un matériau brut non traité.

---

## **1 – ESSAIS DE FACONNAGE ET DE CUISSON**

### **1 – 1 – Préparation des échantillons**

La préparation a été faite en deux opérations : séchage puis broyage à une granulométrie inférieure à 500µm.

Les produits utilisés pour la fabrication des éprouvettes de cuisson ont été composés en mélangeant les différents matériaux bruts préparés dans des proportions définies.

### **1– 2 – Fabrication des éprouvettes**

**Les différentes compositions ont été élaborées en respectant la procédure suivante :**

- mélange et homogénéisation des matériaux bruts préalablement préparés,
- ajout d'eau et malaxage manuel pour obtenir une pâte ferme (la teneur en eau sera ajustée au moment de l'extrusion pour optimiser le mélange),
- repos de la pâte pendant une nuit.

**Les éprouvettes ont été obtenues par extrusion :**

La pâte préparée est mélangée et malaxée dans l'extrudeuse à 5 reprises en ajustant la teneur en eau afin d'obtenir un produit d'une plasticité compatible avec l'extrusion. Les éprouvettes sont réalisées en plaçant un embout de section carrée 20 x 20mm à la sortie de l'appareil. La pâte extrudée est découpée en éléments de 110mm de long environ, permettant ainsi d'obtenir les éprouvettes recherchées qui sont ensuite déposées sur une grille pour le séchage.

Au total, 14 séries d'éprouvettes ont ainsi été réalisées à partir d'un échantillon unique ou par mélange de plusieurs échantillons bruts :

- Série 01 : 100 % argile A1,
- Série 02 : 100 % argile A2,
- Série 03 : 100 % argile A3,
- Série 04 : 100 % argile A4,
- Série 05 : 80 % argile Savannah + 20 % argile Les Avirons,
- Série 06 : 100 % argile Quartier Français,
- Série 07 : 60 % tufs Saint-Pierre + 20 % argile Les Avirons + 20 % argile A3,
- Série 08 : 55% argile Savannah + 25% argile Les Avirons + 20% sable siliceux A5,
- Série 09 : 55% argile Savannah + 25% argile Les Avirons + 20% tufs Saint-Pierre,
- Série 10 : 80% argile Savannah + 20% argile A2,
- Série 11 : 60% tufs Saint-Pierre + 40% argile A2,

- Série 12 : 60% tufs Saint-Pierre + 20% argile Savannah + 20% argile A3,
- Série 13 : 20% tufs Saint-Pierre + 80% argile Savannah,
- Série 14 : 55% argile Savannah + 25% argile A2 + 20% tufs Saint-Pierre.

### **1 – 3 – Essais sur éprouvettes**

#### **Les essais de cuisson ont été réalisés en procédant comme suit :**

- séchage des éprouvettes à l'étuve à 105°C durant 24h,
- cuisson dans un four programmé pour effectuer une montée en température à raison de 100°C par heure et un palier de deux heures à la température de cuisson. Le refroidissement se faisant par extinction du four.

#### **Les différentes mesures réalisées sur les éprouvettes :**

- teneur en eau et pertes au feu : pesée des éprouvettes après fabrication, étuvage et cuisson,
- retraits au séchage et à la cuisson : la distance entre les marques tracées sur les barrettes est mesurée au pied à coulisse après fabrication, séchage et cuisson,
- couleur : la définition des couleurs est réalisée à l'aide du code MUNSELL sur chaque éprouvette après fabrication, séchage et cuisson,
- absorption d'eau après cuisson : cette mesure est réalisée en pesant les éprouvettes avant et après immersion dans l'eau durant 48h à température et pression ambiante.

Tous les résultats des mesures de teneur en eau, pertes au feu et retraits au séchage et à la cuisson sont exprimés en pourcentage par rapport à l'échantillon séché en étuve à 105 °C.

Les compositions, mesures et essais sont présentés pour chaque préparation ou mélange dans les pages suivantes.

## SERIE 01

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
100% argile A1	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte peu plastique et très « sèche », petits arrachement à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro éprouvette	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
01-001 et 002	40,11	17,07			
01-003 et 004	39,78		17,11		
01-005 et 006	40,14			17,25	
01-007 et 008	40,16				17,36

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro éprouvette	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
01-001 et 002	5,76	4,26			
01-003 et 004	4,94		4,56		
01-005 et 006	5,37			4,74	
01-007 et 008	4,99				5,04

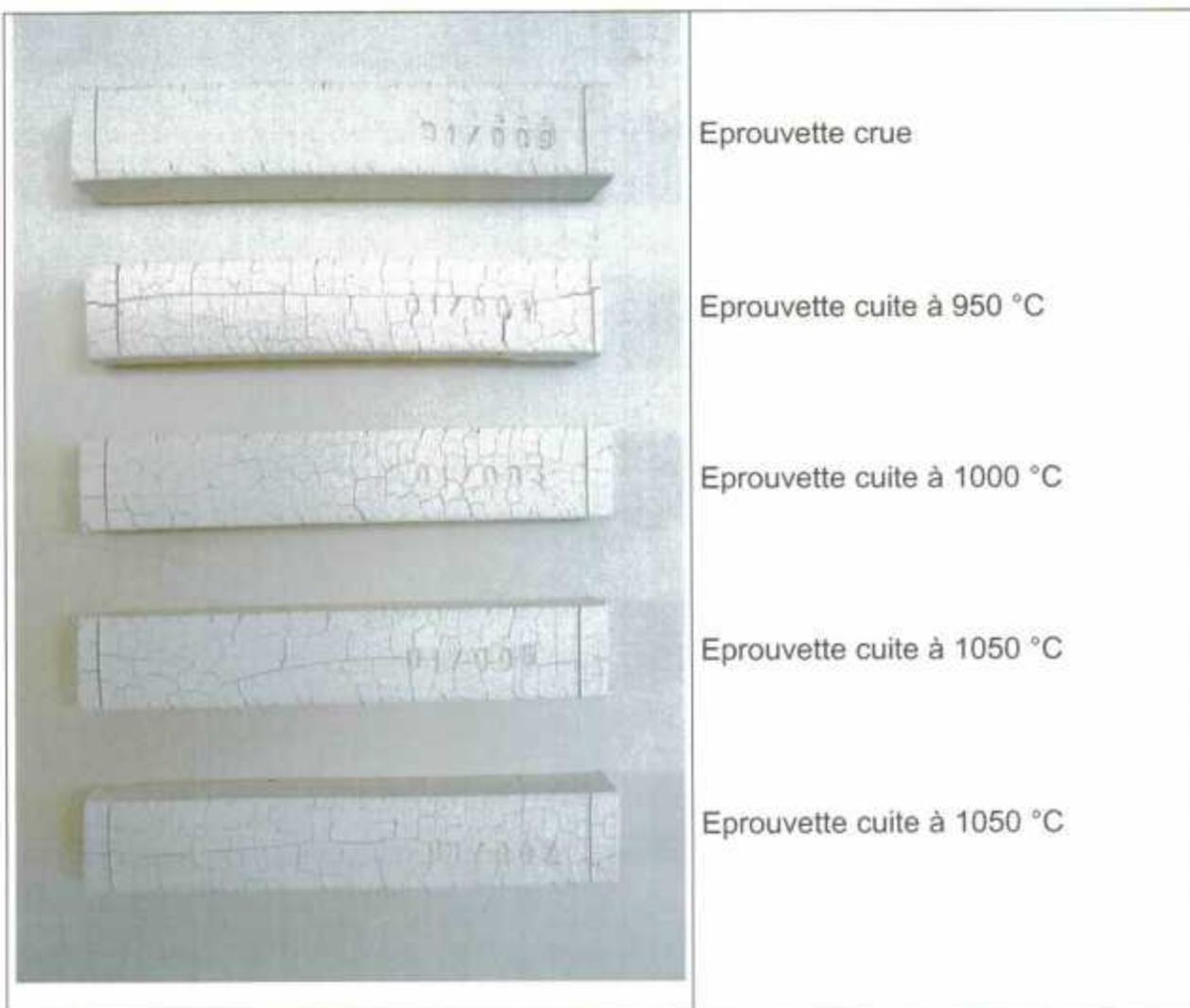
### - Couleurs :

Références échantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
01	7.5YR – 8/1 Blanc	7.5YR – 8/2 Blanc rosé	5YR – 8/1 Blanc	7.5YR – 8/1 Blanc	10YR – 8/1 Blanc

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro éprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
01-001 et 002	Eprouvettes fissurées et cassée après cuisson			
01-003 et 004	Mesures non réalisées			
01-005 et 006				
01-007 et 008				

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 02

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
100% argile A2	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple, bon comportement à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro éprouvette	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
02-001 et 002	34,27	10,66			
02-003 et 004	34,32		10,66		
02-005 et 006	34,36			10,81	
02-007 et 008	33,54				10,88

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro éprouvette	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
02-001 et 002	4,17	1,88			
02-003 et 004	4,66		2,36		
02-005 et 006	3,95			5,72	
02-007 et 008	3,74				7,16

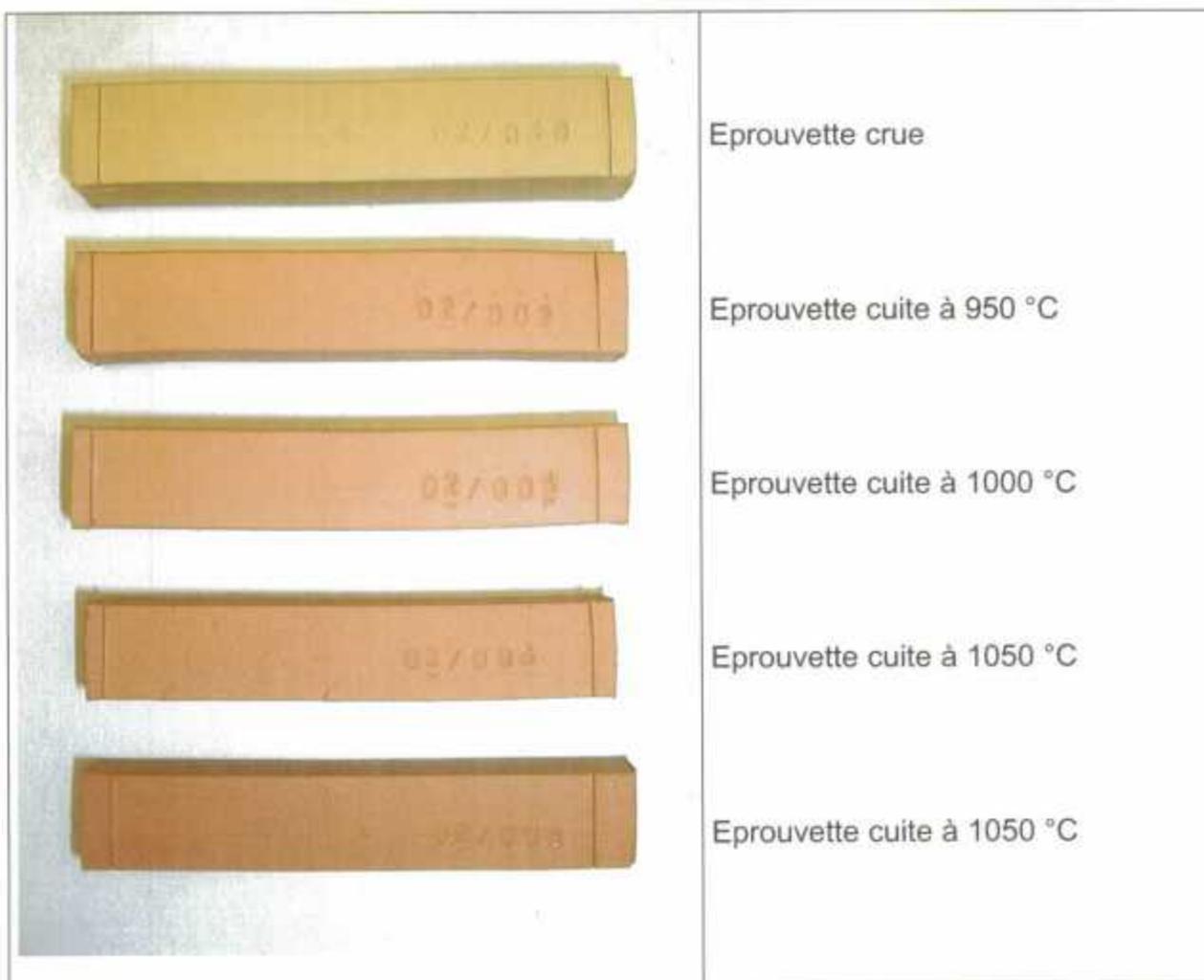
### - Couleurs :

Références échantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
02	10YR – 7/4 Jaune	2.5YR – 6/8 Rouge clair	2.5YR – 6/8 Rouge clair	10R – 6/8 Rouge clair	2.5YR – 6/8 Rouge clair

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro éprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
02-001 et 002	26,20			
02-003 et 004		24,30		
02-005 et 006			16,93	
02-007 et 008				12,41

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 03

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
100% argile A3	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte souple, bon comportement à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
03-001 et 002	35,93	12,36			
03-003 et 004	35,93		12,43		
03-005 et 006	35,85			12,57	
03-007 et 008	35,75				12,71

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro épreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
03-001 et 002	5,94	3,55			
03-003 et 004	6,38		3,19		
03-005 et 006	6,33			4,95	
03-007 et 008	6,38				9,42

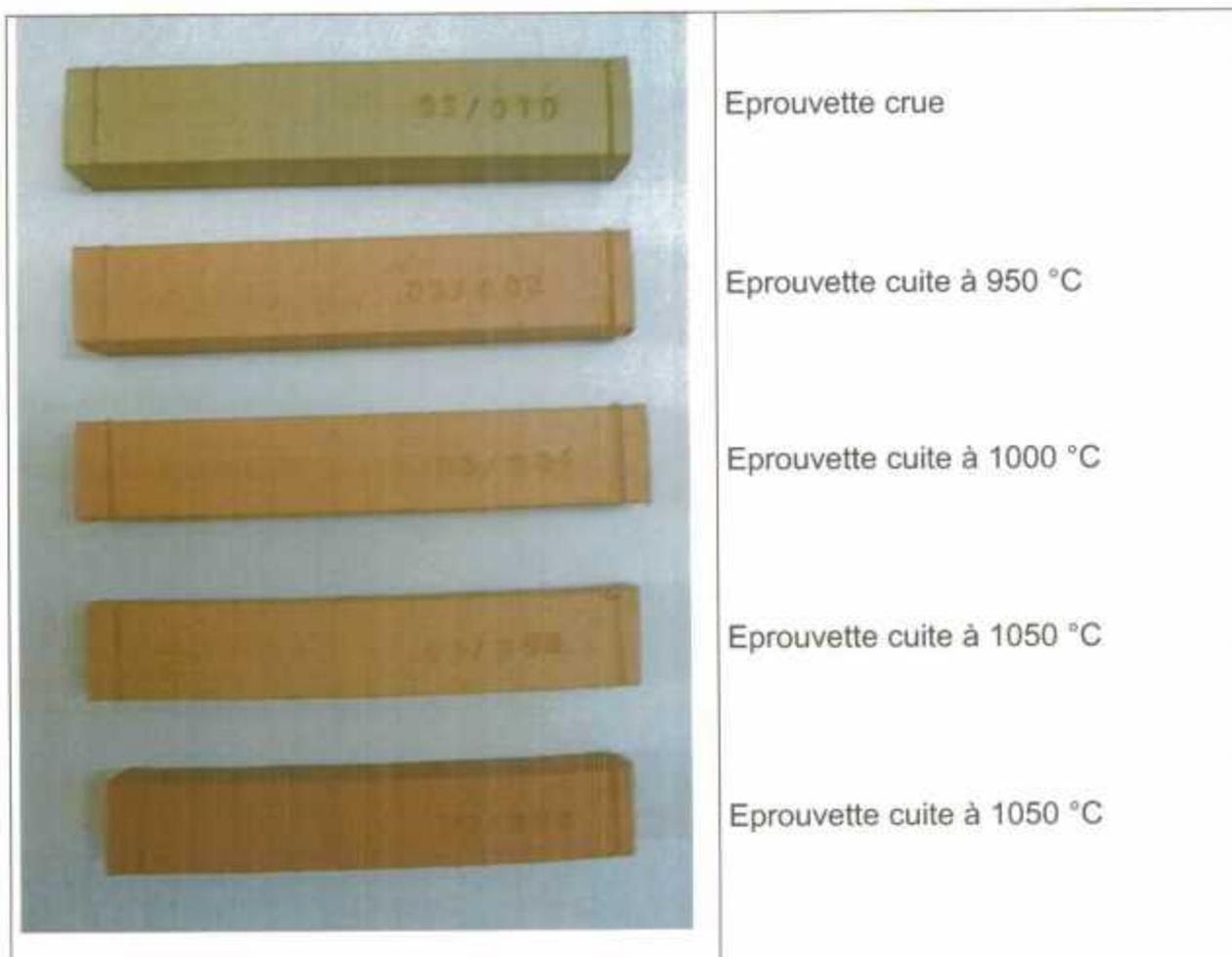
### - Couleurs :

Références échantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
03	10YR – 6/4 Brun-jaune pâle	2.5YR – 6/8 Rouge clair	2.5YR – 6/8 Rouge clair	2.5YR – 6/6 Rouge clair	2.5YR – 5/8 Rouge

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
03-001 et 002	24,71			
03-003 et 004		23,84		
03-005 et 006			18,28	
03-007 et 008				8,11

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 04

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
100% argile A4	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte peu plastique et « sèche », petits arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
04-001 et 002	32,14	12,64			
04-003 et 004	32,21		12,69		
04-005 et 006	32,27			12,80	
04-007 et 008	32,40				12,84

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
04-001 et 002	3,75	2,13			
04-003 et 004	2,99		2,06		
04-005 et 006	2,99			2,17	
04-007 et 008	3,20				2,06

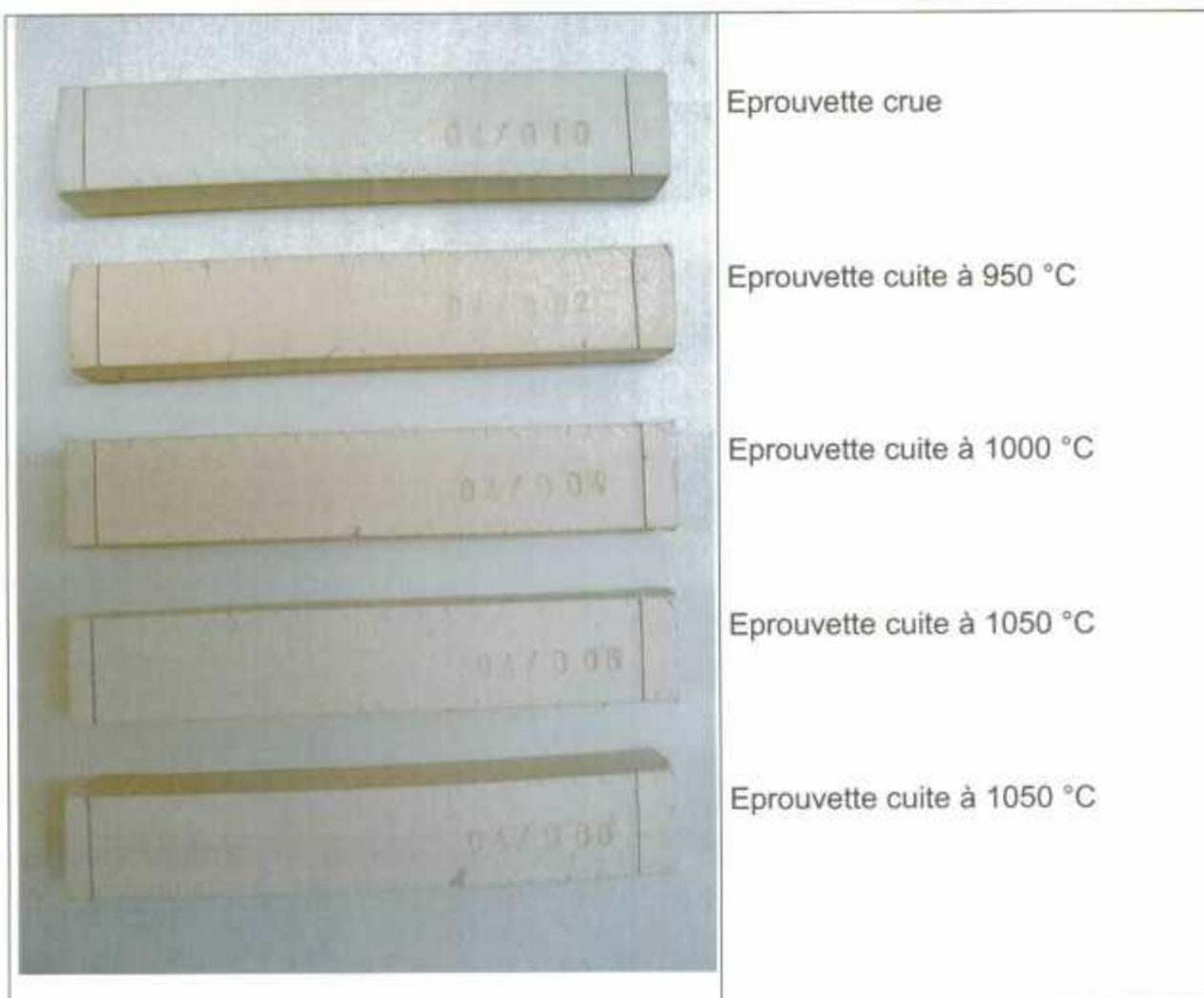
### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
04	10YR – 8/2 Brun très pâle	5YR – 8/4 Rose	5YR – 8/3 Rose	5YR – 8/2 Blanc rosé	7.5YR – 8/2 Blanc rosé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro éprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
04-001 et 002	29,05			
04-003 et 004		28,69		
04-005 et 006			28,61	
04-007 et 008				27,23

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 05

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
80% argile Savannah	
20% argile Les Avirons	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte moyennement plastique, légers arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
05-001 et 002	30,39	5,31			
05-003 et 004	30,49		5,30		
05-005 et 006	30,57			5,29	
05-007 et 008	30,50				5,28

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
05-001 et 002	8,93	2,07			
05-003 et 004	8,53		2,39		
05-005 et 006	8,73			2,45	
05-007 et 008	8,99				2,99

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
05	5YR – 4/3 Brun-rouge	2.5YR – 5/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/6 Rouge	2.5YR – 4/6 Rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro éprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
05-001 et 002	15,06			
05-003 et 004		14,45		
05-005 et 006			14,37	
05-007 et 008				13,13

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 06

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
100% argile Quartier Français	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte très peu souple, arrachements nombreux à l'extrusion.

épreuve	façonnage %	RETRAITS A L. CUISSON (%)			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
06-001 et 002	35,63	9,45			
06-003 et 004	35,93		9,47		
06-005 et 006	35,29			9,46	
06-007 et 008	34,99				9,33

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A L. CUISSON (%)			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
06-001 et 002	6,33	3,45			
06-003 et 004	6,78		4,59		
06-005 et 006	6,16			5,79	
06-007 et 008	6,73				6,19

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
06	10YR – 4/3 Brun	2.5YR – 4/6 Rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 3 /4 Brun-rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
06-001 et 002	20,47			
06-003 et 004		18,39		
06-005 et 006			15,38	
06-007 et 008				12,31

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 07

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
20% argile Les Aviron	60% tufs Saint-Pierre
20% argile A3	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple mais peu plastique, petits arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
07-001 et 002	29,93	6,30			
07-003 et 004	29,81		6,32		
07-005 et 006	29,82			6,32	
07-007 et 008	29,82				6,33

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
07-001 et 002	5,71	5,39			
07-003 et 004	5,65		7,03		
07-005 et 006	5,43			7,01	
07-007 et 008	5,38				9,38

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
07	5YR – 4/3 Brun-rouge	2.5YR – 4/6 Rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 3 /4 Brun-rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
07-001 et 002	10,87			
07-003 et 004		8,51		
07-005 et 006			6,66	
07-007 et 008				2,90

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 08

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
55% argile Savannah	20% sable A5
25% argile Les Avirons	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple et plastique, faibles arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
08-001 et 002	26,22	4,77			
08-003 et 004	26,29		4,77		
08-005 et 006	26,43			4,83	
08-007 et 008	26,49				4,88

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
08-001 et 002	7,82	1,78			
08-003 et 004	7,88		1,72		
08-005 et 006	7,43			1,40	
08-007 et 008	7,65				1,29

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
08	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/6 Rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4 /4 Brun-rouge

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
08-001 et 002	13,65			
08-003 et 004		12,96		
08-005 et 006			13,05	
08-007 et 008				12,26

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 09

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
55% argile Savannah	20% tufs Saint-Pierre
25% argile Les Avirons	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple et plastique, faibles arrachements à l'extrusion

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro	Teneur en eau de façonnage	PERTES AU FEU ( % )			
					à 1100°C
09-001 et 002	31,73	5,08			
09-003 et 004	31,66		5,06		
09-005 et 006	31,60			5,10	
09-007 et 008	31,66				5,14

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Eprouvette	%	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
09-001 et 002	7,70	3,02			
09-003 et 004	8,11		3,51		
09-005 et 006	8,23			1,79	
09-007 et 008	7,24				3,17

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
09	2.5YR - 4/4 Brun-rouge	2.5YR - 4/6 Rouge	2.5YR - 4/4 Brun-rouge	2.5YR - 4/4 Brun-rouge	2.5YR - 4/3 Brun-rouge

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
09-001 et 002	13,66			
09-003 et 004		12,97		
09-005 et 006			12,34	
09-007 et 008				10,35

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 10

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
80% argile Savannah 25% argile A2	

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple et plastique, bonne extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro éprouvette	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
10-001 et 002	28,64	4,74			
10-003 et 004	28,65		4,73		
10-005 et 006	28,66			4,76	
10-007 et 008	28,49				4,79

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Eprouvette	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
10-001 et 002	3,79	1,04			
10-003 et 004	3,74		0,83		
10-005 et 006	3,95			1,51	
10-007 et 008	4,06				2,14

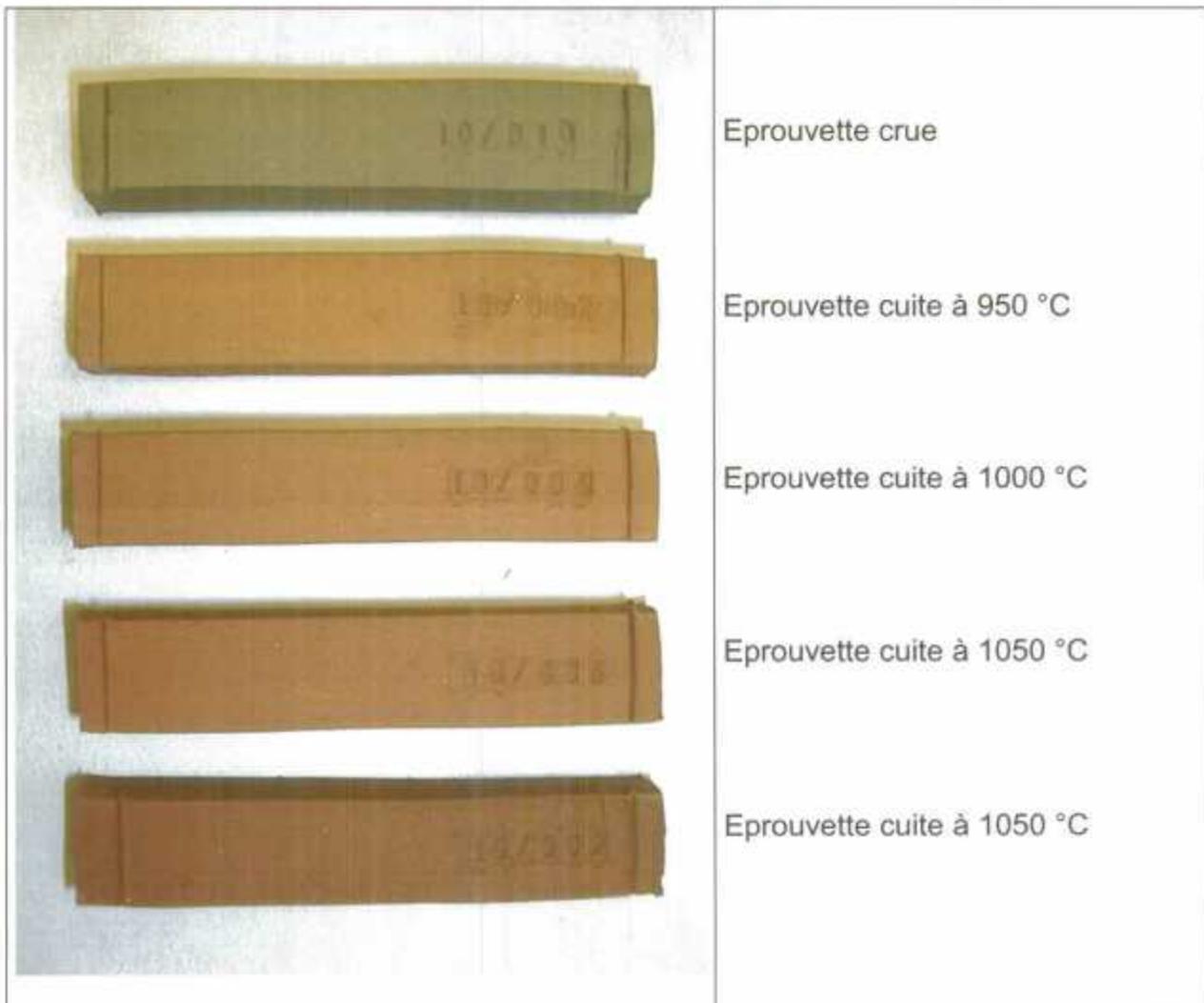
### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
10	2.5Y – 5/2 Gris-olive	2.5YR – 5/6 Rouge	2.5YR – 5/6 Rouge	10R – 5/6 Rouge	2.5YR – 3 /4 Brun-rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
10-001 et 002	17,83			
10-003 et 004		17,36		
10-005 et 006			17,05	
10-007 et 008				14,54

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 11

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
40% argile A2	60% tufs Saint-Pierre

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte dure et peu plastique, nombreux arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro éprouvette	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
11-001 et 002	25,72	5,52			
11-003 et 004	25,71		5,59		
11-005 et 006	25,99			5,63	
11-007 et 008	26,00				5,63

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Eprouvette	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
11-001 et 002	1,52	4,06			
11-003 et 004	2,15		5,21		
11-005 et 006	2,36			6,09	
11-007 et 008	1,89				8,92

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
11	2.5Y – 5/2 Gris-olive	2.5YR – 5/6 Rouge	2.5YR – 4/6 Rouge	10R – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 3 /4 Brun-rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
11-001 et 002	13,79			
11-003 et 004		11,40		
11-005 et 006			10,01	
11-007 et 008				4,86

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 12

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
20% argile Savannah 20% argile A3	60% tufs Saint-Pierre

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple mais peu plastique, petits arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
12-001 et 002	24,79	4,51			
12-003 et 004	24,86		4,56		
12-005 et 006	24,88			4,60	
12-007 et 008	24,79				4,65

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
12-001 et 002	2,73	3,65			
12-003 et 004	2,88		3,91		
12-005 et 006	2,41			5,07	
12-007 et 008	2,52				7,08

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
12	2.5Y – 4/1 Gris foncé	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 3 /4 Brun-rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
12-001 et 002	11,23			
12-003 et 004		10,23		
12-005 et 006			9,46	
12-007 et 008				6,27

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 13

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
80% argile Savannah	20% lufs Saint-Pierre

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple mais peu plastique, petits arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro éprouvette	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
13-001 et 002	24,39	4,14			
13-003 et 004	24,57		4,15		
13-005 et 006	24,50			4,15	
13-007 et 008	24,64				4,12

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Eprouvette	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
13-001 et 002	2,51	0,97			
13-003 et 004	2,89		0,72		
13-005 et 006	2,99			1,29	
13-007 et 008	3,04				3,61

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
13	2.5Y – 4/1 Gris foncé	2.5YR – 4/6 Rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	10Y – 3/3 Rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
13-001 et 002	16,44			
13-003 et 004		16,39		
13-005 et 006			15,30	
13-007 et 008				10,58

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



## SERIE 14

### - Composition :

Matériaux argileux	Dégraissants / Fondants
55% argile Savannah 25% argile A2	20% lufs Saint-Pierre

### - Comportement à l'extrusion de la préparation :

Pâte assez souple et plastique, légers arrachements à l'extrusion.

### - Teneur en eau de façonnage et pertes au feu :

Numéro épreuve	Teneur en eau de façonnage %	PERTES AU FEU ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
14-001 et 002	24,45	4,25			
14-003 et 004	24,48		4,35		
14-005 et 006	24,42			4,40	
14-007 et 008	24,48				4,50

### - Retraits au séchage et à la cuisson :

Numéro Epreuve	Retraits au séchage %	RETRAITS A LA CUISSON ( % )			
		à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
14-001 et 002	3,31	1,19			
14-003 et 004	3,52		1,04		
14-005 et 006	3,31			1,65	
14-007 et 008	3,52				2,49

### - Couleurs :

Références Echantillon	DETERMINATION DE LA COULEUR ( réf. MUNSELL et Couleur )				
	sur cru sec	à 950°C	à 1000°C	à 1050°C	à 1100°C
14	2.5Y – 5/2 Gris-olive	2.5YR – 5/6 Rouge	2.5YR – 5/6 Rouge	2.5YR – 4/4 Brun-rouge	10Y – 3/3 Rouge foncé

**- Absorption d'eau après cuisson :**

Numéro Eprouvette	ABSORPTION D'EAU (%)			
	cuisson à 950°C	cuisson à 1000°C	cuisson à 1050°C	cuisson à 1100°C
14-001 et 002	15,69			
14-003 et 004		15,15		
14-005 et 006			14,54	
14-007 et 008				12,17

**- Présentation des éprouvettes avant et après cuisson :**



**Annexe 3.2 : Essais de cuisson réalisés au CTTB**

## MELANGES ETUDIÉS

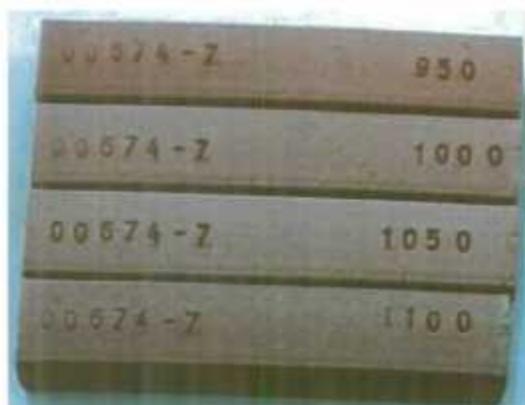
- 00674-1 argile (noire) SAVANNAH
- 00674-2 argile (rouge) LES AVIRONS
- 00674-3 POUZZOLANNES St Pierre
- 00674-4 Argile A2 de Madagascar
- 00674-5 Feldspath A7 de Madagascar
- 00674-6 Argile A3 de Madagascar
- 00674-7 échantillon brgm 5 = mélange (80% de 00674-1 + 20% de 00674-2)
- 00674-8 échantillon brgm 7 = mélange (20% de 00674-2 + 60% de 00674-3 + 20% de 00674-6)
- 00674-9 échantillon brgm 9 = mélange (55% de 00674-1 + 25% de 00674-2 + 20% de 00674-3)
- 00674-10 échantillon brgm 10 = mélange (80% de 00674-1 + 20% de 00674-4)
- 00674-11 échantillon brgm 11 = mélange (60% de 00674-3 + 40% de 00674-4)
- 00674-12 échantillon brgm 12 = mélange (20% de 00674-1 + 60% de 00674-3 + 20% de 00674-6)
- 00674-13 échantillon brgm 13 = mélange (80% de 00674-1 + 20% de 00674-3)
- 00674-14 échantillon brgm 14 = mélange (55% de 00674-1 + 25% de 00674-4 + 20% de 00674-3)
- 00674-15 mélange (80% de 00674-12 + 20% de 00674-5)
- 00674-16 mélange (60% de 00674-13 + 40% de 00674-5)
- 00674-17 mélange (50% de 00674-1 + 50% de 00674-6)
- 00674-18 mélange (50% de 00674-2 + 50% de 00674-6)
- 00674-19 mélange (30% de 00674-3 broyée au Forplex à 2 mm + 70% de 00674-6)
- 00674-20 mélange (80% de 00674-17 + 20% de 00674-5)
- 00674-21 mélange (80% de 00674-18 + 20% de 00674-5)
- 00674-22 mélange (80% de 00674-19 + 20% de 00674-5)
- 00674-23 mélange (80% de 00674-1 + 20% de 00674-6)
- 00674-24 mélange (70% de 00674-2 + 30% de 00674-5)
- 00674-25 mélange (80% de 00674-7 + 20% de 00674-5)
- 00674-26 mélange 00674-9 avec 00674-3 broyé aux FORPLEX à 0,5 mm
- 00674-27 mélange (50% de 00674-1 + 10% de 00674-2 + 40% de 00674-3 broyée au Forplex à 0,5 mm )

Analyses chimiques théoriques déduites par calcul  
d'après les analyses chimiques des matières premières  
de base

	<b>00674-7</b> □ échantillon 5 : (80% de 00647-1 + 20% de 0067-2)	<b>00674-23</b> = mélange (80% de 00674-1 + 20% de 00674-6)	<b>00674-24</b> = mélange (70% de 0674-2 + 30% de 00674-5)
PF (en %)	5,424	5,304	12,592
SiO <sub>2</sub> (en %)	44,26	47,12	34,82
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (en %)	15,36	15,54	27,04
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (en %)	14,17	11,7	15,44
TiO <sub>2</sub> (en %)	2,908	2,184	3,872
CaO (en %)	7,305	7,22	1,884
MgO (en %)	7,365	7,32	1,542
K <sub>2</sub> O (en %)	0,706	0,92	1,48
Na <sub>2</sub> O (en %)	1,707	1,64	0,758
MnO (en %)	0,202	0,17	0,168
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (en %)	0,24	0,258	0

## PHOTOGRAPHIE DES EPROUVETTES OBTENUES A PARTIR DES MELANGES

00674-7 = échantillon 5 : (80% d'argile SAVANNAH + 20% d'argile LES AVIRONS)



00674-23 = mélange (80% d'argile SAVANNAH + 20% d'argile A3 de Madagascar)



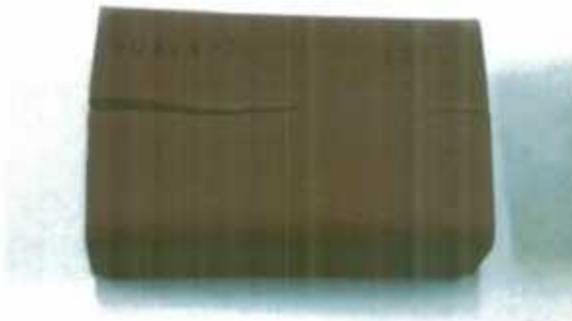
00674-24 = mélange (70% d'argile LES AVIRONS + 30% de feldspath de Madagascar)



PHOTOGRAPHIE DES EPROUVETTES  
AYANT FISSURE AU SECHAGE NATUREL



BRIQUETTE A PAROIS  
FINES  
00674-7



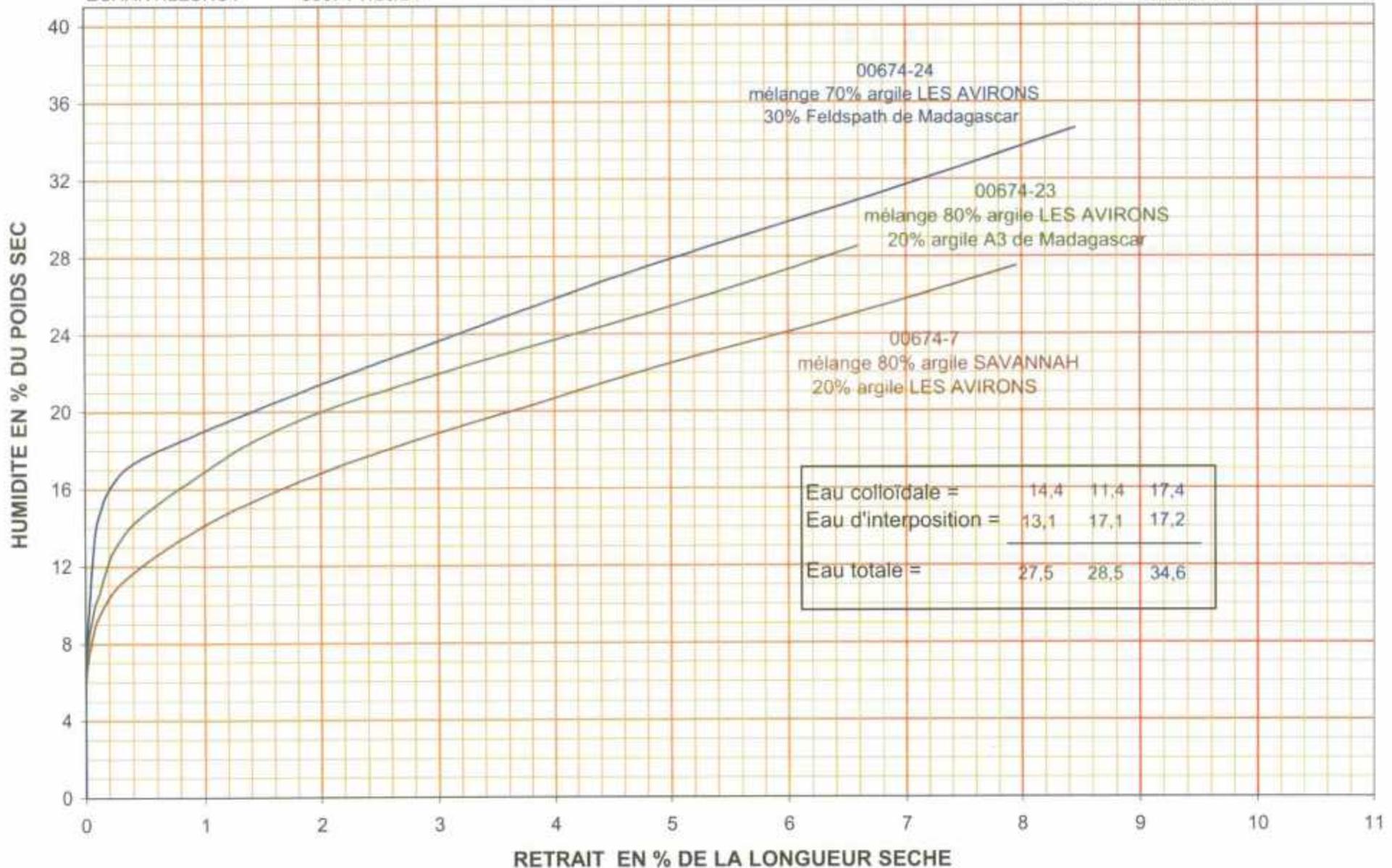
BRIQUETTE A PAROIS  
EPAISSES  
00674-7

N° DOSSIER : 00674  
 CLIENT/DEMANDEUR : BRGM  
 PROVENANCE : Argile de la Réunion  
 ECHANTILLONS : 00674-7/23/24

# COURBE DE BIGOT



DATE : 13/02/2004





## CONTROLES DE COMPORTEMENT CERAMIQUE

N° DE DOSSIER : 00674  
CLIENT/DEMANDEUR : BRGM  
PROVENANCE : Argiles de la Réunion  
ECHANTILLON : 00674-7

échantillon 5  
mélange 80% argile SAVANNAH (noire)  
20% argile LES AVIRONS (rouge)

Température (°C)	Retrait de cuisson en % de la longueur en sec	Perte au feu en % du poids sec	Porosité en % du poids cuit	Observations
950	2,5	5,6	14,4	voile d'efflorescence et pas de grain de chaux
1000	3,4	5,6	12,5	voile d'efflorescence et pas de grain de chaux
1050	3,6	5,6	12,4	voile d'efflorescence et pas de grain de chaux
1100	4,6	5,7	10,2	voile d'efflorescence et pas de grain de chaux

A Clamart, le 21 janvier 2004

Catherine DA SILVA-POIRIER  
Ingénieur Céramiste



## CONTROLES DE COMPORTEMENT CERAMIQUE

**N° DE DOSSIER :** 00674  
**CLIENT/DEMANDEUR :** BRGM  
**PROVENANCE :** Argiles de la Réunion  
**ECHANTILLON :** 00674-23

mélange 80% argile SAVANNAH (noire)  
20% argile A3 de Madagascar (échantillon 3)

Température (°C)	Retrait de cuisson en % de la longueur en sec	Perte au feu en % du poids sec	Porosité en % du poids cuit	Observations
950	1,9	5,5	14,7	ni efflorescence ni grain de chaux
1000	2,6	5,6	13,3	légère efflorescence et pas de grain de chaux
1050	3,1	5,6	12,5	légère efflorescence et pas de grain de chaux
1100	3,5	5,5	11,5	légère efflorescence et pas de grain de chaux

A Clamart, le 26 janvier 2004

Catherine DA SILVA-POIRIER  
Ingénieur Céramiste



## CONTROLES DE COMPORTEMENT CERAMIQUE

**N°DOSSIER :** 00674  
**CLIENT/DEMANDEUR :** BRGM  
**PROVENANCE :** Argiles de la Réunion  
**ECHANTILLON :** 00674-24  
 mélange 70% argile LES AVIRONS (rouge)  
 30% feldspath de Madagascar

Température (°C)	Retrait de cuisson en % de la longueur en sec	Perte au feu en % du poids en sec	Porosité en % du poids en cuit	Observations
950	3,8	11,3	20,4	légère efflorescence et pas de grain de chaux
1000	7,1	11,4	13,5	légère efflorescence et pas de grain de chaux
1050	10,0	11,6	7,5	légère efflorescence et pas de grain de chaux
1100	11,3	11,6	4,9	légère efflorescence et pas de grain de chaux
1150	12,7	11,7	0,8	très légère efflorescence et pas de grain de chaux

A Clamart, le 30 janvier 2004

Catherine DA SILVA-POIRIER  
 Ingénieur Céramiste

## ESSAIS DE SECHAGE

PRODUITS SECHES :  Tuilettes  Briquettes

Caractéristiques du produit séché : briquettes 110 x 58 x 38 - 2 alvéoles - parois minces

DEMANDEUR : BRGM

N° de DOSSIER : 00674

ECHANTILLON : 00674-23 = Mélange (80% d'argile SAVANNAH + 20% d'argile A3)

PROVENANCE : ARGILES DE LA REUNION

PROGRAMME DE SECHAGE :

durée en heure	3
vitesse d'air en m/s	4
T° sèche initiale en °C	25
T° sèche finale en °C	86
Humidité relative initiale en %	96
Humidité relative finale en %	40

MODE OPERATOIRE : voir au verso

PRODUIT N°	POIDS AVANT SECHAGE en g	POIDS APRES SECHAGE en g	POIDS APRES ETUVAGE 105/110°C	HUMIDITE D'ETIRAGE	HUMIDITE RESIDUELLE
1	283,2	237,7	219,6	29,0	8,2
2	283,5	241,8	219,8	29,0	10,0
3	283,3	234,8	219,8	28,9	6,8
4	283,8	236,4	220,3	28,8	7,3
5	283,4	238,0	220,1	28,8	8,1
6	283,5	236,9	220,1	28,8	7,6

HUMIDITE MOYENNE de FACONNAGE (%) 28,9

HUMIDITE MOYENNE EN FIN DE SECHAGE (%) 8,0

RETRAIT TOTAL de SECHAGE (%) 6,7

FIN de RETRAIT 2h50

OBSERVATIONS PAS D'ALTERATIONS APPARENTES

A Clamart, le 12 février 2004

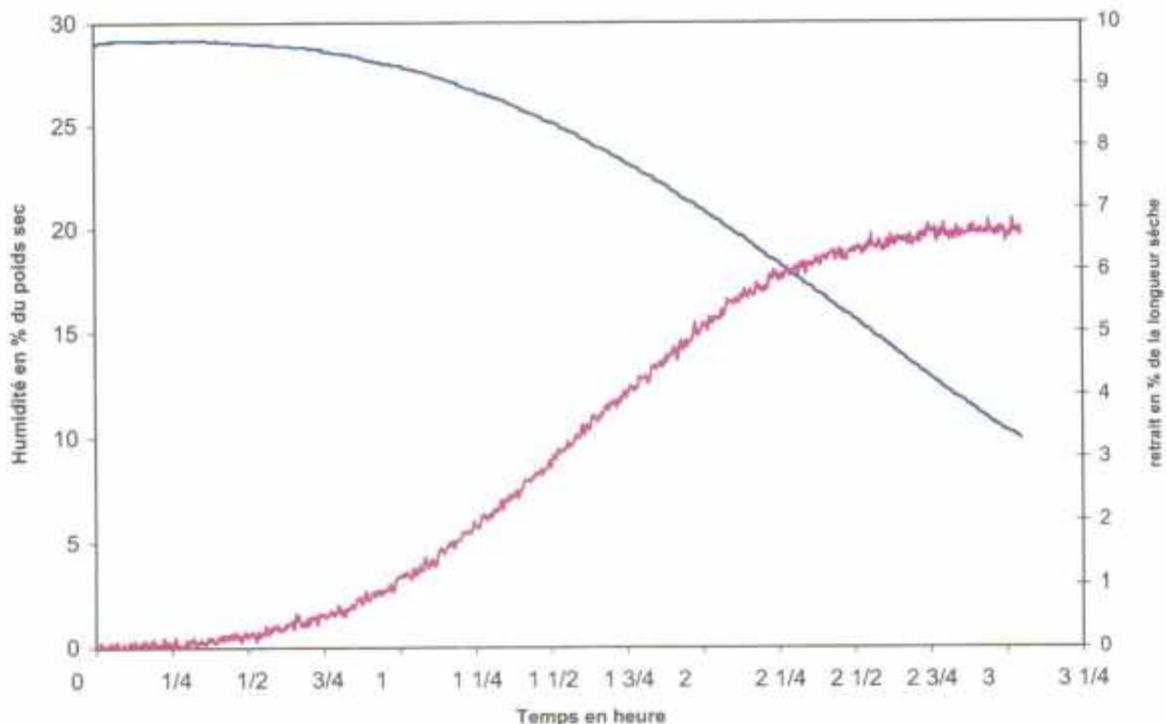
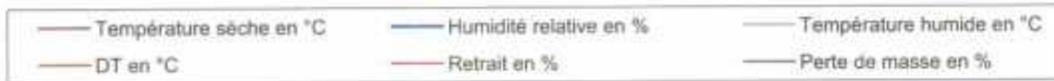
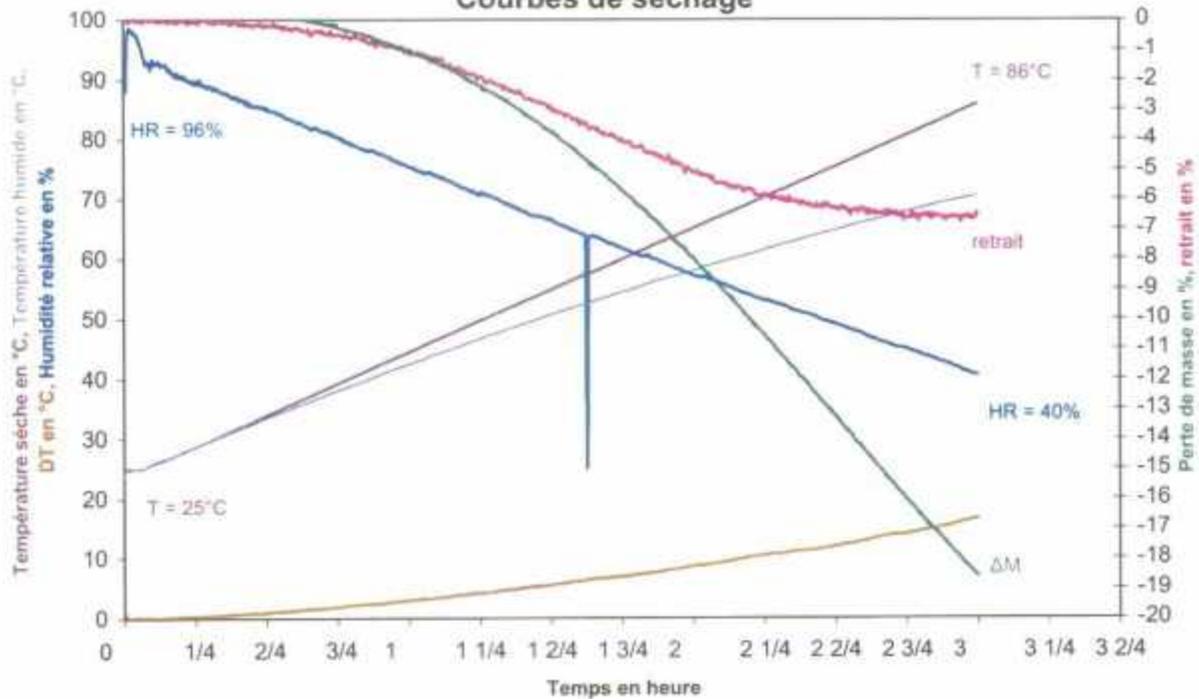
Catherine DA SILVA-POIRIER  
Ingénieur Céramiste



## ESSAI DE SECHAGE RAPIDE

### 00674-23 = Mélange (80% d'argile SAVANNAH + 20% d'argile A3)

**Courbes de séchage**



## ESSAIS DE SECHAGE

PRODUITS SECHES :

Tuilettes

Briquettes

Caractéristiques du produit séché : tuilettes 110 x 120 x 15 mm

DEMANDEUR : BRGM

N° de DOSSIER : 00674

ECHANTILLON : 00674-24 = mélange (70% d'argile LES AVIRONS + 30% de Feldspath)

PROVENANCE : ARGILES DE LA REUNION

PROGRAMME DE SECHAGE :

durée en heure	3
vitesse d'air en m/s	4
T° sèche initiale en °C	25
T° sèche finale en °C	88
Humidité relative initiale en %	96
Humidité relative finale en %	42

MODE OPERATOIRE : voir au verso

PRODUIT N°	POIDS AVANT SECHAGE en g	POIDS APRES SECHAGE en g	POIDS APRES ETUVAGE 105/110°C	HUMIDITE D'ETIRAGE	HUMIDITE RESIDUELLE
1	437,9	397,7	324,3	35,0	22,6
2	438,1	390,0	324,4	35,0	20,2
3	435,6	394,1	322,3	35,2	22,3
4	437,7	384,3	323,9	35,1	18,6
5	437,7	394,1	324,5	34,9	21,4
6	437,5	400,6	324,3	34,9	23,5

HUMIDITE MOYENNE de FACONNAGE (%) 35,0

HUMIDITE MOYENNE EN FIN DE SECHAGE (%) 21,5

RETRAIT TOTAL de SECHAGE (%) 8

FIN de RETRAIT après les 3h00

OBSERVATIONS Fissuration d'une tuilettes sur les 6

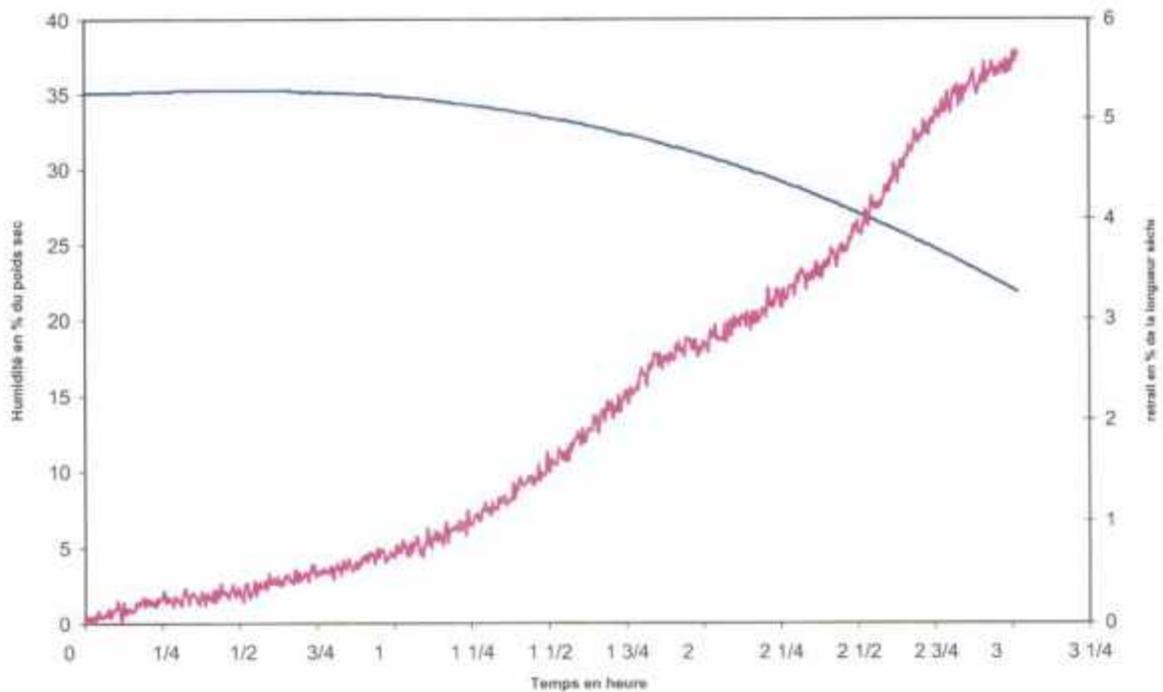
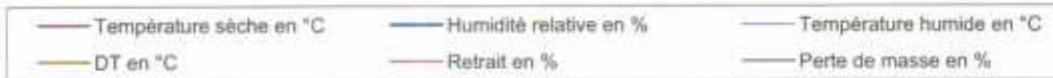
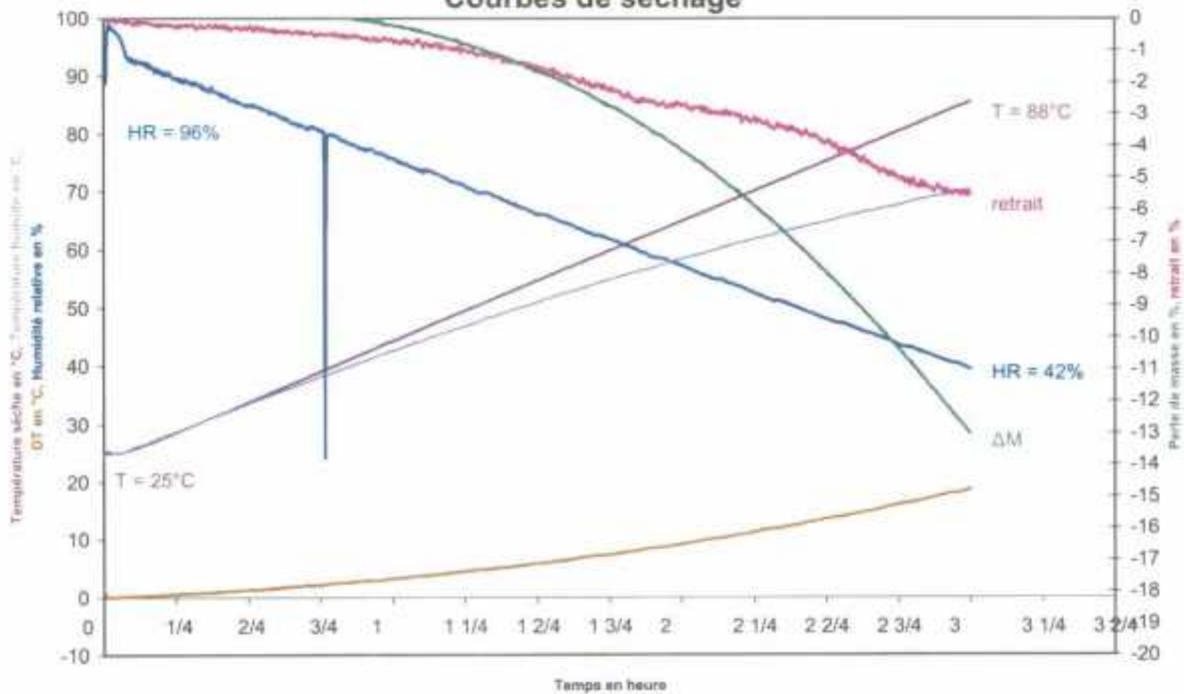
A Clamart, le 12 février 2004

Catherine DA SILVA-POIRIER  
Ingénieur Céramista

## ESSAI DE SECHAGE RAPIDE

### 00674-24 = Mélange (70% d'argile LES AVIRONS + 30% de Feldspath)

**Courbes de séchage**



client : BRGM  
dossier : 00674

### CARACTERISTIQUES CERAMIQUES

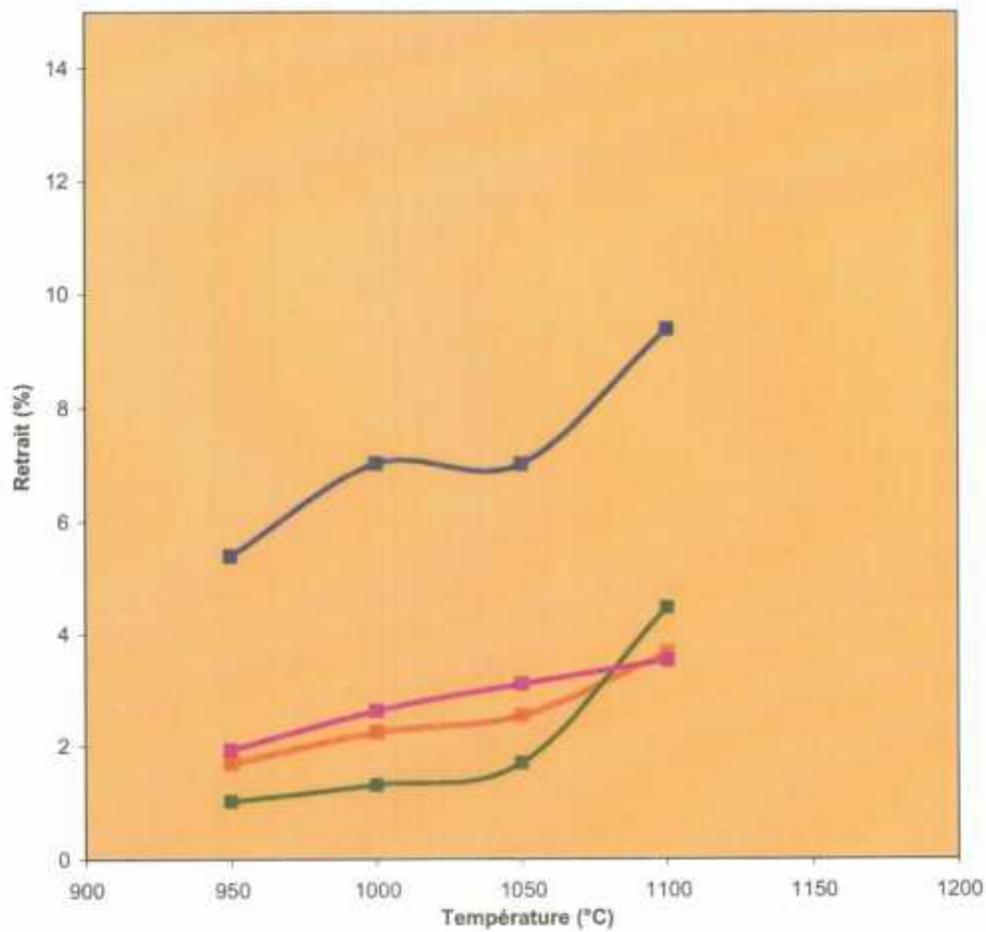
#### mélanges pour briques enduites

mélange 00674-8 : 20% Avirons + 60% pouzzolane + 20% argile A3

mélange 10 : 80% Savannah + 20% argile A2

mélange 13 : 80% Savannah + 20% pouzzolane

mélange 23 : 80% Savannah + 20% argile A3



Retrait 00674-10 (%)

Retrait 00674-13 (%)

Retrait 00674-23 (%)

Retrait 00674-8 (%)

client : BRGM  
dossier 00674

CARACTERISTIQUES CERAMIQUES

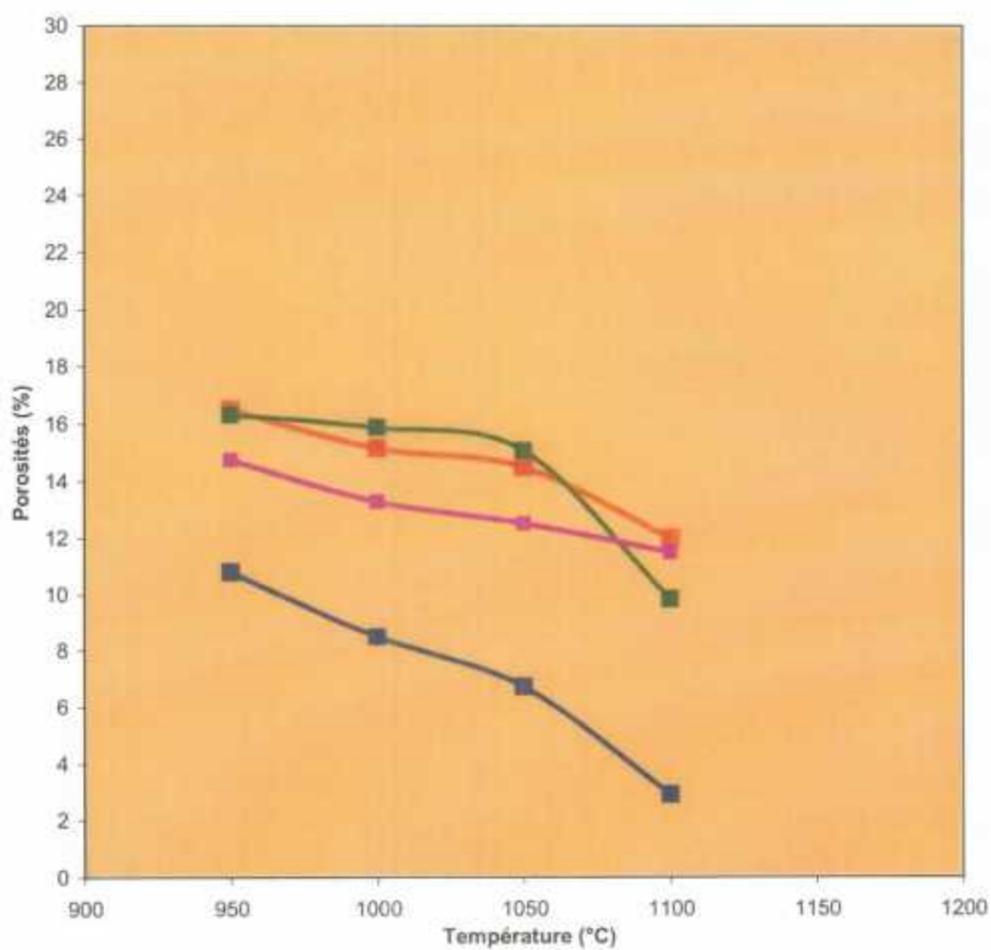
mélanges pour briques enduites

mélange 00674-8 : 20% Avirons + 60% pouzzolane + 20% argile A3

mélange 10 : 80% Savannah + 20% argile A2

mélange 13 : 80% Savannah + 20% pouzzolane

mélange 23 : 80% Savannah + 20% argile A3



Porosité 00674-10 (%)

Porosité 00674-13 (%)

Porosité 00674-23 (%)

Porosité 00674-8 (%)

dossier 00674

client : BRGM

CARACTERISTIQUES CERAMIQUES

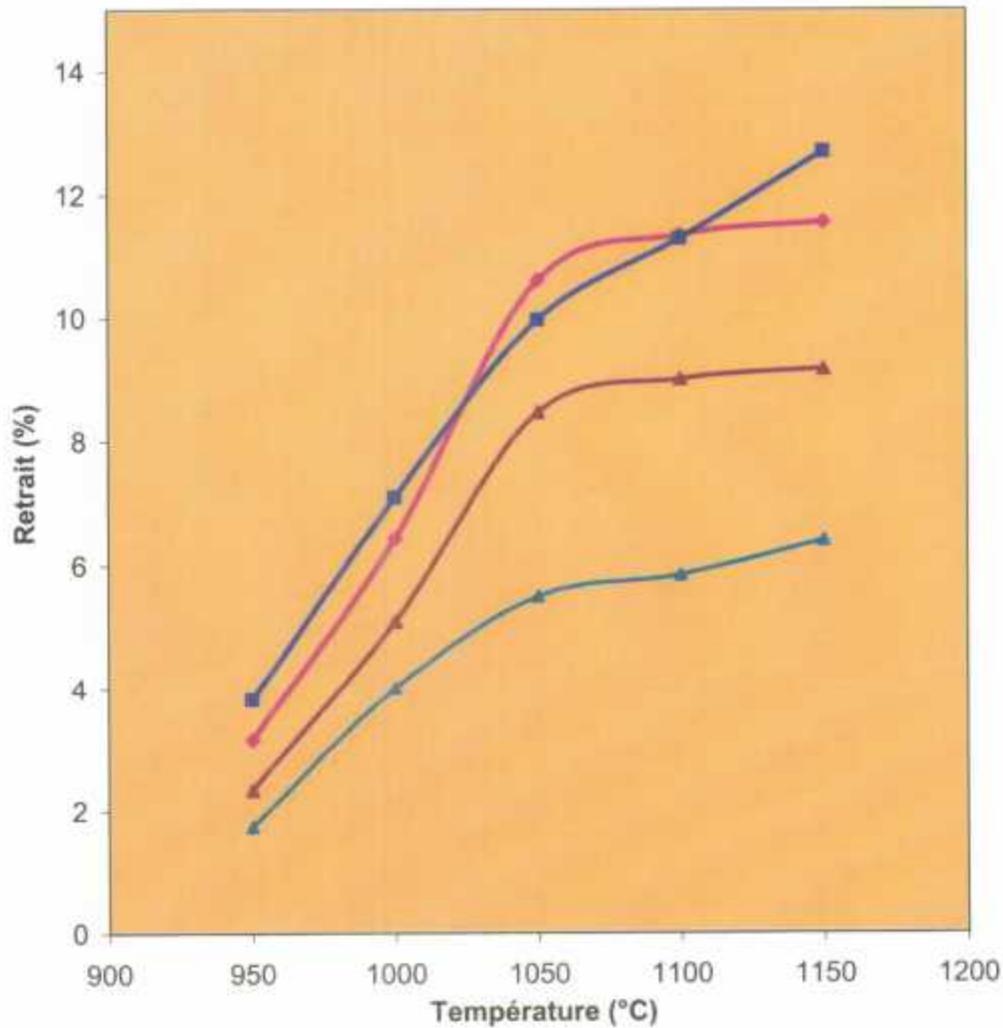
influence de fondants ( A3 et feldspath)

mélange 17 : 50% Savannah + 50% argile A3

mélange 19 : 30% pouzzolane broyée à 0,5mm+ 70% argile A3

mélange 21 : 40% Avirons + 40% argile A3 + 20% feldspath

mélange 24 : 70% Avirons + 30% feldspath



dossier 00674

client : BRGM

**CARACTERISTIQUES CERAMIQUES**

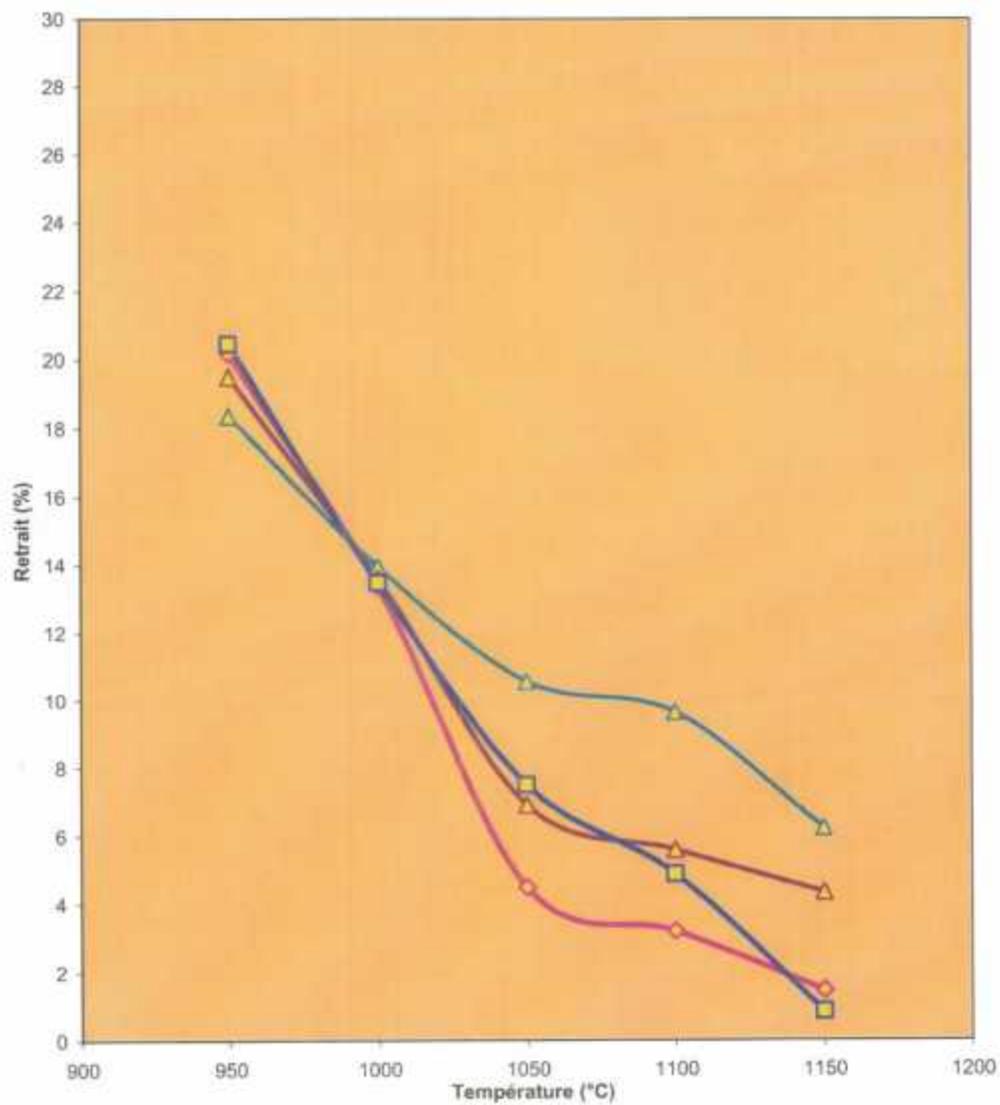
**influence de fondants ( A3 et feldspath)**

mélange 17 : 50% Savannah + 50% argile A3

mélange 19 : 30% pouzzolane broyée à 0,5mm+ 70% argile A3

mélange 21 : 40% Avirons + 40% argile A3 + 20% feldspath

mélange 24 : 70% Avirons + 30% feldspath



client : BRGM  
dossier : 00674

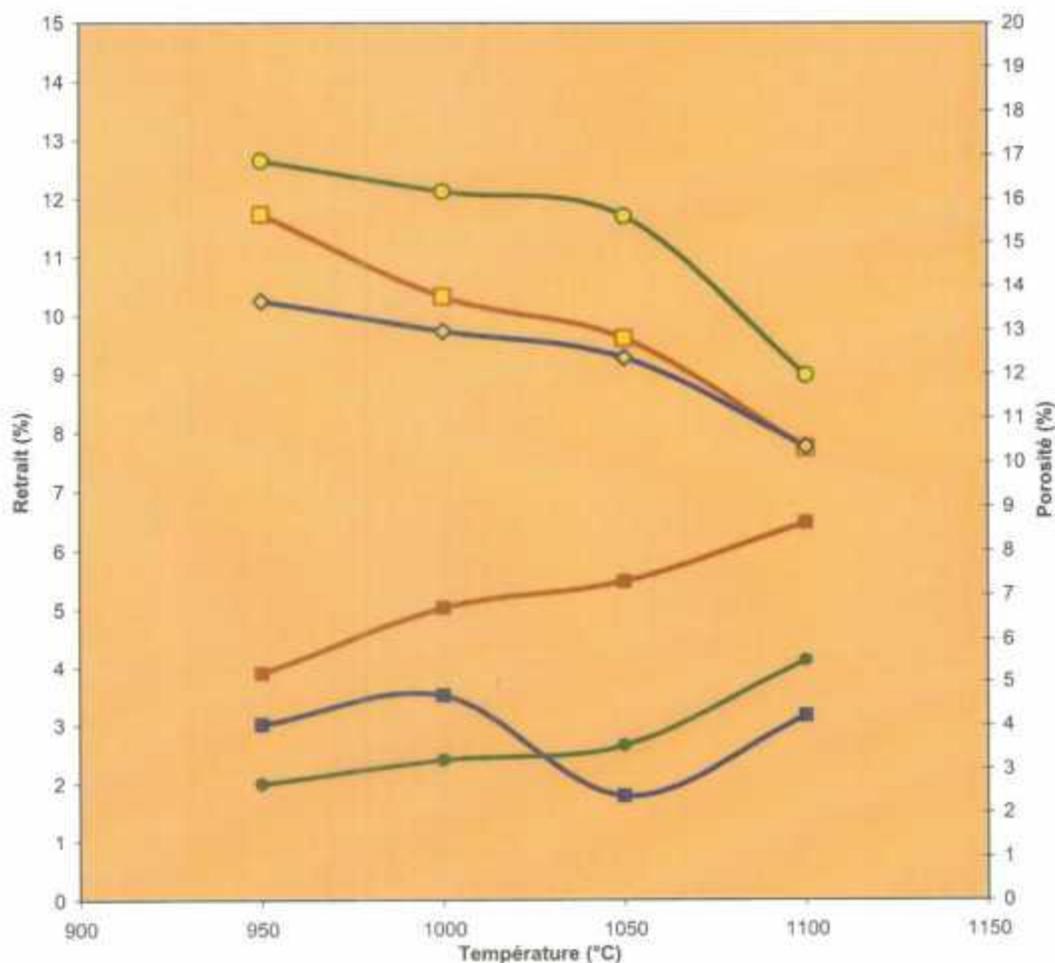
CARACTERISTIQUES CERAMIQUES

influence du broyage du pouzzolane

mélange 9 : 55% Savannah + 25% Avirons + 20% pouzzolane

mélange 26 = mélange 9 avec pouzzolane 0,5mm

mélange 27 : 50% Savannah + 10% Avirons + 40% pouzzolane 0,5mm



## METHODE STANDARD D'ESSAI

### COURBE DE BIGOT

La courbe de Bigot est déterminée à partir de deux échantillons de 30x15x15mm environ, façonnés par extrusion sous vide sur mouleuse NETZSCH sauf cas particuliers pour lesquels les éprouvettes sont estampées manuellement dans un moule approprié. Dès après façonnage, ces échantillons sont stockés en tube fermé pendant 24 heures au minimum, afin d'homogénéisation de leur humidité. Ils sont ensuite disposés sur l'appareil Barelattographe (ADAMEL) disponible au C.T.T.B. pour enregistrement simultané de perte de masse et de retrait au cours du séchage.

La courbe obtenue traitée informatiquement conduit à un graphique représentant l'évolution du retrait (par rapport à la longueur en sec) en fonction de l'évolution de l'humidité (exprimée en pourcentage de la masse sèche) durant le séchage.



## METHODE STANDARD D'ESSAI

### CONTROLES DE COMPORTEMENT CERAMIQUE SUR COMPOSITIONS ARGILEUSES

Sauf conditions particulières spécifiées dans le corps des comptes rendus, ces essais sont conduits de la manière suivante :

- façonnage par extrusion sous vide de barrettes prismatiques de 100 x 18 x 18 mm (\*),
- séchage naturel de ces éprouvettes avec étuvage final à 110°C pendant 24 heures,
- cuisson des éprouvettes en four électrique à différentes températures, avec échauffement à 100°C/heure et maintien aux températures maximales durant 2 heures avant refroidissement.

Pour chaque cuisson, les déterminations suivantes sont réalisées :

- Mesure de retrait de cuisson par différence de longueurs en cru sec et en cuit (résultats exprimés en pourcentage de la longueur en cru sec).
- Mesure des pertes (pondérales) au feu par différence des masses en cru sec et en cuit (résultats exprimés en pourcentage de la masse en sec).
- Mesure des porosités des produits cuits par détermination des masses d'eau absorbées par imbibition capillaire puis immersion complète dans l'eau froide. La durée totale de l'essai est de 48 heures dont 4 heures d'imbibition capillaire (résultats exprimés en pourcentage de la masse en cuit avant imbibition).

(\*) Dans certains cas, ces essais sont réalisés sur briquettes pleines, perforées ou creuses, ou encore sur d'autres types d'éprouvettes. Ils sont alors conduits globalement comme indiqué ci-dessus mais dans les cas les plus fréquents les cuissons sont réalisées avec échauffement à raison de 50°C/heure et avec maintien de 4 heures aux températures maximales avant refroidissement.

### CONTROLE ANNEXE

#### DE RISQUES EVENTUELS D'ECLATEMENTS POST-CUISSON

Hors cas particuliers, tout contrôle de comportement céramique est complété d'un contrôle de tendance éventuelle aux éclatements de grains de chaux par test classique d'immersion d'éprouvettes cuites, durant 3 heures, dans de l'eau maintenue en ébullition.

## **METHODE STANDARD D'ESSAI**

### **ESSAI DE SECHAGE ET/OU CUISSON**

#### **PRINCIPE**

L'essai de séchage est effectué sur une série d'éprouvettes (en général au nombre de 7 façonnées par extrusion), en séchoir expérimental CTTB-SAPRATIN.

Les paramètres programmés sont ceux indiqués au verso.

La durée totale de séchage indiquée comporte en général une demi-heure préalable de relaxation des contraintes.

La croissance de la température et la décroissance parallèle de l'humidité relative de l'ambiance de séchage sont linéaires et enregistrées en continu avec la masse et le retrait des éprouvettes.

A la sortie du séchoir, les éprouvettes sont mises à l'étuvage entre 105 et 110°C en vue de déterminer l'humidité d'étirage.

La montée en température en cuisson est effectuée entre 50°C et 100°C/heure suivie d'un palier de 2 à 4 h aux températures maximales.

#### **CONDITIONS DE SECHAGE**

Suivant paramètres indiqués sur le Programme de séchage du compte rendu.

## COMPTE RENDU DE RECHERCHE

**Demandeur**      **BRGM**  
Service Analyse et Caractérisation Minérale  
Unité Caractérisation Minérale  
3 avenue Claude Guillemin BP 6009  
45060 ORLEANS Cedex 02

---

**Objet**            **ETUDE D'APTITUDE CERAMIQUE DE MELANGES  
A PARTIR DE TERRES DE LA REUNION ET DE MADAGASCAR**

---

**Dossier : 00674**

Clamart, le 17 février 2004

**C. POIRIER**  
Ingénieur Céramiste

**L. ANDRIAMITANTSOA**  
Chef du Service CERAMIQUE

---

Sans accord spécial du C.T.T.B. la reproduction partielle ou intégrale de compte rendu est interdite

*Ce document comporte 10 pages de rapport + 20 pages d'annexes*

## ETUDE D'APTITUDE CERAMIQUE DE MELANGES A PARTIR DE TERRES DE LA REUNION ET DE MADAGASCAR

### 1 INTRODUCTION

Le présent rapport apporte des compléments d'analyses aux résultats obtenus par le BRGM sur une série de mélanges à base de matières premières locales de la Réunion (il s'agit de 5 échantillons portant les numéros 00674-10 à 14 identifiés en annexe) et amendés par des ajouts provenant de Madagascar.

L'une des conclusions pratiques tirée de ces résultats était que les mélanges qui présentent des caractéristiques exploitables ont des porosités relativement élevées et que leur plasticité est plus ou moins limitée.

Les études menées ont donc visé l'obtention de tessons de moindres porosités en vue de possibilités de fabrication de tuiles ou de carreaux de terre cuite *tout en tenant compte des caractéristiques principales acceptables au cours du process, c'est-à-dire :*

- L'aptitude à l'extrusion
- L'aptitude au séchage
- *La qualité du palier de cuisson.*

L'atteinte de ces objectifs implique toutefois l'utilisation à fortes proportions de matières premières de Madagascar (soit l'argile A3, soit le feldspath), quelquefois égales et souvent supérieures à celles des terres de la Réunion, ce qui pourrait présenter peu d'intérêt économique sur le plan industriel. Aussi, les résultats issus de ces mélanges (réf. 00674-15 à 22) ne sont rappelés que sous forme de graphes en annexe.

Sont détaillés ci-après les approfondissements concernant les mélanges comportant majoritairement des argiles de la Réunion, et dont les caractéristiques apparaissent les plus intéressantes à l'issue des études précédentes, sans être totalement satisfaisantes selon les produits de terre cuite visés (réf. 00674-7 et 00674-23 à 27).

### 2 IDENTIFICATION DES ECHANTILLONS

Les références utilisées sont des numéros séquentiels du CTTB allant du 00674-1 à 27. Afin de faciliter les recoupements avec les études du BRGM, les numéros d'échantillons du BRGM sont mentionnés dans ces références. L'ensemble est listé en annexe mais seuls les matières premières utilisées et les mélanges étudiés sont indiqués ci-après.

## 2.1 Matières premières de base

674-1	Argile noire SAVANNAH
674-2	Argile rouge LES AVIRONS
674-3	Pouzzolanes ST PIERRE (tufs volcaniques)
674-4	Argile A2 de Madagascar
674-5	Feldspath de Madagascar A7
674-6	Argile A3 de Madagascar

## 2.2 Mélanges

674-7	Echantillon 5 du BRGM = mélange 80% du 1 + 20% du 2
674-23	Mélange 80% du 1 + 20% du 6
674-24	70% du 2 + 30% du 5
674-25	80% du 7 + 20% du 5
674-26	mélange : 55% du 1 + 25% du 2 + 20% du 3 (pouzzolanes broyées à 0,5mm)
674-27	mélange : 50% du 1 + 10% du 2 + 40% du 3 (pouzzolanes broyées à 0,5mm).

Les méthodes standard d'essais sont indiquées dans les différentes fiches jointes en annexe.

### Remarque importante

La porosité indiquée est une mesure conventionnellement utilisée pour les produits de terre cuite et donnée dans un but comparatif. Il s'agit en fait du pourcentage d'absorption d'eau rapporté à la masse sèche du tesson.

## 3 ESSAIS REALISES ET RESULTATS

### 3.1 Mélange 00674-7

Le mélange déjà étudié par le BRGM a fait l'objet des tests suivants :

- détermination de courbe de Bigot
- contrôle de comportement céramique pour des cuissons à 950 – 1000 – 1050 – 1100°C
- extrusion et cuissons de briquettes à parois fines et à parois épaisses, à titre de démonstration

### 3.1.1 Courbe de Bigot

Une mise en pâte moins humide [27,5% contre 30,5% sur l'échantillon n°5 (BRGM)] a été volontairement réalisée. Le retrait de séchage correspondant est de 8%. Il prend fin à une humidité résiduelle de 6,0%. L'humidité d'équilibre atteinte en ambiance de laboratoire reste élevée (5,5%).

Le départ de l'eau d'interposition s'accompagne d'un retrait non négligeable, traduisant une sensibilité persistante aux fissurations.

La pente de la partie linéaire de la courbe se situe dans une plage peu favorable d'aptitude au séchage.

*L'ensemble de ces caractéristiques indique clairement une aptitude médiocre au séchage, résultant à la fois de la présence probable d'espèce minérale particulière (smectite ?) et de la richesse du mélange en phase siliceuse fine (provenant de l'argile SAVANNAH) peu cohésive.*

### 3.1.2 Comportement céramique

Ce mélange conduit à des produits cuits de texture micro-rugueuse, dont la couleur brun orangé à 950°C fonce au rouge brun à 1000 et 1050°C et vire au brun à 1100°C.

Un fin voile d'efflorescences couvre la face de séchage, indiquant la présence de sels solubles dans le mélange cru.

La sonorité claire des tessons indique sans ambiguïté une satisfaisante densification céramique dès 950°C.

Les retraits sont élevés et évolutifs, augmentant de 2,5 à 4,6%.

Les porosités diminuent de 14,4 à 10,2% ; ces valeurs sont courantes pour des briques.

La perte au feu, modérée, est dans la pratique stabilisée (5,6%).

Le test d'éclatements de grains de chaux est négatif.

*En résumé, ce mélange de plasticité moyenne peut être façonné par extrusion et permet d'obtenir des tessons de bonne qualité mécanique. Les fortes variations des caractéristiques réduisent l'intervalle de travail mais une cuisson ciblée à 1025°C apporte les plus faibles évolutions. Dans ce cas, la fabrication de briques destinées à être enduite devrait être possible, avec des retraits moyens de cuisson de 3,5% et des porosités moyennes de 12,5%. Le voile d'efflorescence mentionné ne devrait pas être une gêne pour l'aspect des produits dans la mesure où ce voile sera moins apparent lors d'un séchage en usine où les surfaces exposées aux flux d'air sont plus importantes. Par contre, l'émissibilité des éléments potentiellement corrosifs ou polluants mérite d'être analysées (soufre contenu probablement dans du gypse présent à l'état de traces dans l'argile SAVANNAH).*

### 3.1.3 Séchage de briquettes

Le séchage naturel en ambiance de laboratoire provoque des fissurations importantes, qu'il s'agisse des briquettes à parois fines ou de briquettes à parois plus épaisses. Ceci confirme les observations sur la courbe de Bigot.

*Dans ces conditions, il est certain que le séchage industriel risque de s'avérer très difficile.*

## 3.2 Mélange 00674-23

Ce mélange comporte 80% d'argile SAVANNAH comme le précédent, mais les 20% complémentaires ont été substitués par de l'argile A3 de Madagascar. Les objectifs de ce mélange sont triples :

- Améliorer la plasticité et si possible réduire l'eau de façonnage
- Réduire les porosités grâce à la forte fusibilité de l'argile A3.
- Maintenir le mieux possible le large palier de cuisson offert par l'argile SAVANNAH.

Cet échantillon a été soumis aux essais suivants :

- Détermination de courbe de Bigot
- Contrôle de comportement céramique pour des cuissons à 950 – 1000 – 1050 – 1100°C
- Séchage programmé de briquettes en séchoir expérimental, suivi de cuissons à titre de démonstration

### 3.2.1 Courbe de Bigot

Mis en pâte normale à 28,5% d'eau, le mélange prend un retrait total de séchage de 6,6% qui s'achève à 6,8% d'humidité résiduelle.

L'humidité d'équilibre en ambiance de laboratoire ne descend pas au-dessous de 5%.

Le retrait est modéré eu égard à la teneur en eau initiale. Il ne se stabilise par contre que très progressivement. La pente de la partie linéaire de la courbe est légèrement plus favorable que la précédente.

*Si une telle courbe de Bigot traduit une bonne aptitude globale au séchage, celle-ci ne doit pas cacher une phase délicate, environ entre 20% et 7% d'humidité, qui nécessite un processus devant rester très progressif.*

### 3.2.2 Comportement céramique

L'aspect des tessons suggère un très faible gain de plasticité par rapport au mélange 7 mais une nette augmentation de la finesse de texture.

La teinte des produits allant de l'orangé terne au brun moyen montre une plus grande évolution de 950 à 1000°C.

La bonne céramisation est obtenue dès 950°C.

Les retraits croissent de 1,9 à 3,5% et restent systématiquement au-dessous de ceux du mélange précédent.

Les porosités variant de 14,7 à 11,5% diffèrent peu tout en restant supérieures à celles de ce mélange.

L'argile A3 n'apporte pas de nodules calcaires susceptibles de provoquer des éclatements des tessons.

*En résumé, la substitution de l'argile LES AVIRONS par l'argile A3 de Madagascar n'apporte sur le plan céramique que peu d'amélioration, à savoir des retraits globalement plus faibles.*

### 3.2.3 Séchage programmé

Ce protocole de séchage rapide en 3h constitue un outil comparatif d'analyse de comportement au séchage développé au CTTB. La pression d'extrusion (9 bars) pour une humidité proche de 28% se situe dans les faibles gammes de pratiques industrielles (un essai en pâte plus ferme a permis un façonnage à 25,6%). L'humidité en fin de traitement est encore élevée (8%) mais le retrait (6,7%) est pratiquement stabilisé.

Un examen détaillé des courbes montre qu'un programme de départ plus sévère (plus haute température) aurait pu permettre d'accélérer le séchage.

Les briquettes à parois fines ou épaisses subissent avec succès ce test, confirmant ainsi les observations sur la courbe de Bigot.

*Ce mélange devrait pouvoir être séché dans le cadre de programme classique d'usine.*

## 3.3 Mélange 00674-24

Ce mélange vise à obtenir des tessons de faibles porosités par l'ajout de feldspath à une argile compatible de la Réunion. Il a subi les mêmes essais que le mélange 00674-23 précédent, les briquettes ayant été remplacées par des tuilettes.

### 3.3.1 Courbe de Bigot

Ce mélange nécessite une très forte teneur en eau pour sa mise en pâte plastique (34,6%) et prend un retrait important de 8,4% au séchage.

Ce retrait s'achève à 6,4% d'humidité résiduelle sans que le départ de l'eau d'interposition génère de retrait important.

*La pente de la partie linéaire de la courbe se situe dans une gamme assez favorable. L'aptitude au séchage de ce mélange est plutôt bonne. Il faudrait toutefois tester les possibilités de diminution du taux d'humidité de façonnage en vue d'application industrielle.*

### 3.3.2 Comportement céramique

Les tessons ont une texture fine et régulière et leur teinte est rouge à 950 et 1000°C (coloration apportée par l'argile LES AVIRONS).

Un développement de couleur brunâtre se produit à partir de 1050°C et aboutit à du rouge brun à 1150°C. Un menu voile d'efflorescences apparaît plus nettement entre 1000 et 1110°C.

La céramisation des produits est bonne dès 950°C.

Les retraits très élevés augmentent de 3,8 à 12,7%.

Les porosités chutent de 20,4 à un état grésé de 0,8%.

La perte au feu évolue faiblement de 11,3 à 11,7%.

Le test d'éclatements de grains de chaux est négatif.

*En résumé, l'effet de grésage escompté a lieu, mais malheureusement les amorces de stabilisation des caractéristiques observées vers 1050°C ne se confirment pas aux plus hautes températures de cuisson. Les plus faibles variations mesurées, entre 1050 et 1100°C sont de :*

- 1,3% pour les retraits
- 2,6% pour les porosités

*Les retraits trop élevés et le palier de cuisson très étroit, sont défavorables à la fabrication de produits tels que les tuiles ou les carreaux, ou même de briques apparentes..*

### 3.3.3 Séchage programmé

Ce programme de référence de laboratoire conduit non seulement à des humidités résiduelles très élevées (21,5%) mais aussi à des retraits encore très évolutifs.

Seule une tuilette sur six présente des fissures à la fin du cycle.

*Ce mélange nécessitera probablement un processus de séchage relativement long, en tout cas au-delà des programmes dits rapides ou semi-rapides.*

### 3.4 Mélange 00674-25

L'étude de ce mélange amendé par 20% de feldspath se place dans la suite logique du mélange 24 précédent, en cherchant à élargir le palier de cuisson. Le rôle dégraissant de l'argile SAVANNAH est mis en avant, et la base est donc constituée de 80% du mélange 7. Seul le comportement à la cuisson de 950 à 1100°C a été étudié.

#### *Comportement à la cuisson*

Ce mélange conduit à des tessons visuellement corrects et de bonne qualité mécanique. Si les retraits ont diminué (1,8 à 3,8%) par rapport à ceux du mélange 7, les porosités sont toutefois très élevées (19,5 à 14,5%).

L'effet dégraissant de l'argile SAVANNAH devient donc prépondérant.

*Ce mélange n'est pas à retenir.*

### 3.5 Mélanges 00674-26 et 27

L'étude de ces mélanges résulte des relatives bonnes caractéristiques de l'échantillon 9 du BRGM contenant les trois matières premières de la Réunion.

L'objectif est d'utiliser au mieux les propriétés des pouzzolanes, en diminuant leur effet dégraissant tout en activant leur potentiel fondant, grâce à un plus fin broyage du matériau (< 0,5mm).

Seul le comportement à la cuisson de 950 à 1100°C a été étudié.

#### *Comportement céramique*

Les tessons des deux mélanges présentent des arrachements caractéristiques d'une plasticité limitée des mélanges.

- Le mélange 26 subit de très forts retraits (3,9 à 6,5%) sans que les porosités diminuent (15,6 à 10,3%). On peut même enregistrer une légère augmentation de ces dernières comparées à celles du mélange 9.
- Le mélange 27 présente des retraits proches de ceux du mélange 9 (2,0 à 4,1%) mais malheureusement des porosités en très forte hausse (16,9 à 12,0%).

*Ces résultats établissent le rôle prépondérant de dégraissant des pouzzolanes et qu'un plus fin broyage, source de surcoût, n'apparaît pas utile.*

#### 4 CONCLUSIONS GENERALES

Les résumés et les conclusions que l'on peut tirer de ces analyses peuvent être énoncées comme suit :

- Les mélanges ayant les meilleures caractéristiques céramiques sont ceux issus des études du BRGM (00674-7 à 14), mais avec des inconvénients acceptables ou non selon le cas :
  - très grande difficulté de séchage du mélange 7
  - très forts retraits et court palier de cuisson du mélange 8
  - plasticité limitée sans être rédhibitoire du mélange 9 ; le comportement au séchage reste à approfondir
  - peu d'inconvénient pour le mélange 10
  - très mauvaise aptitude à l'extrusion pour le mélange 11
  - médiocre aptitude à l'extrusion ou texture grossière de tessons des mélanges 12, 13 et 14
- L'amélioration de la plasticité ou des caractéristiques céramiques aux moyens des matières premières de Madagascar nécessite une trop forte quantité (taux d'au moins 50%) de ces matières importées.  
En outre, si la fusibilité apportée par l'argile A3 ou le feldspath permet d'atteindre des porosités compatibles avec la fabrication de briques apparentes ou de tuiles, le palier de cuisson est par contre trop court (ce qui signifie que les dimensions et les porosités des produits risquent de présenter de trop grandes dispersions).  
Pour obtenir des paliers plus étendus, il faudrait traiter les produits vers 1100°C, ce qui induit des aspects surcuits, des virements inacceptables de teintes, des retraits trop importants et bien entendu de fortes dépenses énergétiques non forcément justifiées.
- Avec un apport raisonnable de 30% de feldspath de Madagascar, seul le mélange 24 (avec 70% d'argile LES AVIRONS) conduit à des porosités appropriées pour la fabrication de carreaux mais avec les inconvénients indiqués au §3.3.2 (cuisson à 1150°C, très court palier de cuisson).

Il apparaît en définitive que l'obtention de produits de faibles porosités (briques apparentes, tuiles, carreaux) dans un processus classique de fabrication de produits de terre cuite utilisant le façonnage par extrusion, s'avère très difficile, voire impossible, si l'on veut que ces produits respectent les exigences habituelles de qualité, conformes aux spécifications des normes.

Par contre, la fabrication de briques destinées à être enduites requérant des exigences moins sévères est tout à fait possible. Si l'on n'accorde qu'une importance secondaire aux couleurs des tessons on peut citer pour ce faire, les mélanges ci-après :

- Mélange 10 (80% de Savannah + 20% d'argile A2 de Madagascar mais dont la bonne aptitude au séchage reste à confirmer)

- Mélange 23 (80% de Savannah + 20% d'argile A3 de Madagascar : celle-ci présente l'inconvénient d'un approvisionnement plus éloigné dans la région d'Antananarivo comparée à la précédente). Son aptitude au séchage est favorable.
- Mélange 13 (80% de Savannah + 20% de pouzzolanes) si l'on accepte l'aspect des tessons ; à ce titre les mélanges 12 et 14 ont des caractéristiques équivalentes et l'apport d'argiles de Madagascar ne paraît pas justifié.

Sur ces trois mélanges, il faudrait viser des cuissons vers 900°C à 950°C.

Enfin, si l'on veut s'affranchir de l'argile Savannah dont les possibilités d'exploitation peuvent être compromises, seul le mélange 8 (20% LES AVIRONS + 60% pouzzolanes + 20% A3) semble conduire à des caractéristiques céramiques acceptables, malgré les inconvénients déjà cités, en visant des cuissons à 900/950°C ; sa bonne aptitude au séchage reste à confirmer.



**Annexe 3.3 : Essais de fabrication de briquettes et tuilettes  
réalisés au CTTB**

ESSAI DE FABRICATION DE BRIQUETTES

Echantillon CTTB 00674-23

Argile de Savannah : 80 %

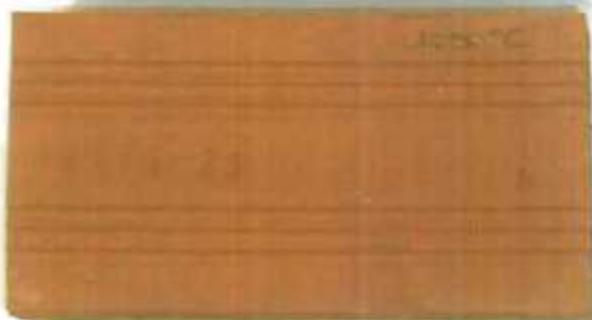
Argile A3 de Madagascar : 20 %



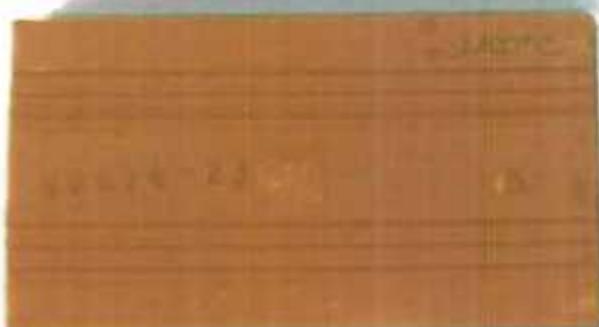
950 °C



1000 °C



1050 °C



1100 °C

# ESSAI DE FABRICATION DE TUILETTES

Echantillon CTTB 00674-24

Argile des Avirons : 70 %

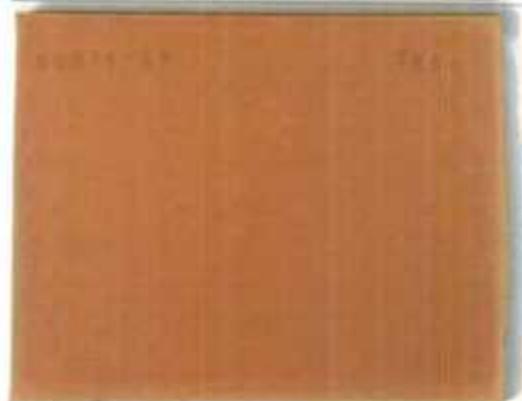
Feldspath A7 de Madagascar : 30 %



950 °C



1000 °C



1050 °C



1100 °C