

Sommaire

Résumé	1
Zusammenfassung	2
Riassunto	3
Abstract	5
1. Introduction	7
2. Qu'est-ce qu'une céramique ?	8
2.1. Les argiles.....	8
2.1.1. Caractéristiques chimiques et physiques	8
2.1.2. Les argiles primaires	9
2.1.3. Les argiles secondaires.....	9
2.2. Les dégraissants	10
2.3. Fabrication des céramiques.....	10
2.3.1. Préparation de la pâte.....	10
2.3.2. Façonnage, finitions et décors	10
2.3.3. Séchage et cuisson	11
2.3.3.1. Processus de cuisson.....	11
2.3.3.2. Types de four	13
2.4. L'altération des céramiques archéologiques.....	13
3. Les céramiques étudiées	16
3.1. Contexte historique.....	16
3.1.1. Période de La Tène.....	16
3.1.2. Rites et structures funéraires	16
3.2. Les fouilles et leur environnement	17
3.2.1. Contexte géographique et géologique.....	17
3.2.2. Contexte archéologique.....	19
3.2.3. Mobilier funéraire	19
3.2.4. Conservation actuelle des céramiques	21
4. Description et constat d'état des céramiques	22
4.1. Examen visuel, description et analyses	22

4.1.1.	Pyxide ou gobelet en bobine (Rep.5).....	23
4.1.2.	Pot modelé à la main (Rep.11).....	24
4.1.3.	Coupelle (coupe) en céramique commune à pâte claire (Rep.12).....	26
4.1.4.	Vase <i>a trottola</i> (Rep.14).....	28
4.2.	Résultats des analyses	29
5.	Synthèse / Diagnostic.....	31
6.	Propositions d'intervention : Partie théorique	32
6.1.	Pré-consolidation	32
6.1.1.	Objectif	32
6.1.2.	Méthodes d'application.....	32
6.1.3.	Consolidation temporaire : le cyclododécane.....	33
6.1.4.	Solution acrylique	33
6.1.5.	Dispersion acrylique.....	34
6.1.6.	Dispersion vinylique	34
6.1.7.	Alcool polyvinylique	35
6.1.8.	Ethers de cellulose.....	35
6.2.	Nettoyage	36
6.2.1.	Méthodes mécaniques.....	36
6.2.2.	Méthodes chimiques	37
6.2.2.1.	Solutions acides	37
6.2.2.2.	Solutions alcalines.....	38
6.2.2.3.	Complexants.....	38
6.2.2.1.	AB® 57.....	39
6.2.2.2.	Echangeur d'ions	40
6.2.3.	Méthodes d'application des produits chimiques.....	40
6.2.3.1.	Argile colloïdale (Sépiolite).....	41
6.2.3.2.	Pulpe de cellulose (Arbocel®)	41
6.2.3.3.	Acide polyacrylique (Carbopol®)	41
6.2.3.4.	Ether de cellulose (Tylose®).....	42
6.2.3.5.	Silice amorphe (Aérosil®).....	42

6.3.	Consolidation permanente et remontage.....	42
6.3.1.	Solution acrylique	43
6.3.2.	Trétraéthoxysilane ou silicate d'éthyle	43
6.3.3.	Evaluation et choix du consolidant et adhésif	44
7.	Propositions d'intervention : Partie expérimentale.....	45
7.1.	Tests de nettoyage mécanique avec l'airbrush.....	45
7.1.1.	Introduction/mise en œuvre	45
7.1.2.	Résultats	45
7.1.3.	Conclusion	46
7.2.	Tests de nettoyage mécanique par peeling (abrasion avec adhésif).....	46
7.2.1.	Introduction/mise en œuvre	46
7.2.2.	Résultats	47
7.2.3.	Conclusion	47
7.3.	Tests de nettoyage mécanique par peeling (pelage de film adhésif)	47
7.3.1.	Introduction/mise en œuvre	47
7.3.2.	Résultats	48
7.3.3.	Conclusion	48
7.4.	Tests de compatibilité des cataplasmes avec les produits chimiques	49
7.4.1.	Introduction/mise en œuvre	49
7.4.2.	Résultats	49
7.4.3.	Conclusion	50
7.5.	Tests de nettoyage chimique sur les éprouvettes.....	51
7.5.1.	Introduction/mise en œuvre	51
7.5.2.	Résultats	53
7.5.2.1.	Solutions acides	53
7.5.2.2.	Solutions alcalines.....	54
7.5.2.3.	Complexants.....	55
7.5.2.4.	Solution de nettoyage : AB57	56
7.5.2.5.	Echangeur d'ions	56
7.5.3.	Synthèse.....	57

7.5.4.	Conclusion	58
7.6.	Tests de compatibilité des consolidants avec les produits chimiques	59
7.6.1.	Introduction/mise en œuvre	59
7.6.2.	Résultats	59
7.6.3.	Conclusion	59
7.7.	Tests de nettoyage par dissolution progressive des consolidants	60
7.7.1.	Introduction/mise en œuvre	60
7.7.2.	Résultats	60
7.7.2.1.	Dissolution du Paraloid® B72.....	60
7.7.2.2.	Dissolution partielle et sublimation du cyclododécane.....	61
7.7.3.	Conclusion	62
7.8.	Tests de nettoyage sur les céramiques	62
7.8.1.	Introduction/mise en œuvre	62
7.8.2.	Résultats	63
7.8.2.1.	Tests de nettoyage chimique avec dégagement mécanique au pinceau ou à l'airbrush, avec ou sans consolidation préalable.....	63
7.8.2.2.	Tests de nettoyage définitif.....	65
7.8.3.	Conclusion	65
8.	Traitement des céramiques	67
8.1.	Vase <i>a trottola</i> (Rep.14)	67
8.2.	Coupelle en céramique commune (Rep.12)	68
8.3.	Pot modelé à la main (Rep.11).....	69
8.4.	Pyxide (Rep.5).....	70
9.	Conservation préventive.....	72
10.	Synthèse – Discussion	73
11.	Conclusion générale.....	76
	Références bibliographiques.....	77
	Liste des figures et schémas	84
	Liste des tableaux	85
	Liste des appendices	86

RESUME

Ce travail traite de céramiques archéologiques provenant du site de Tremona, près de Mendrisio (TI), en Suisse. Les archéologues ont mis au jour des tombes à incinération de la période de La Tène finale et de l'époque romaine. Les sépultures contenaient un mobilier funéraire varié, parmi lequel des objets métalliques et de nombreuses céramiques.

Les archéologues de l'Ufficio dei Beni Culturali du Tessin se sont rapidement trouvés face à un problème lors du nettoyage des céramiques. Celles-ci sont très tendres, peu cohésives et recouvertes de terre argileuse très adhérente à leur surface. En séchant, l'argile a tendance à s'écailler et arracher cette surface. Si l'on trempe les céramiques dans l'eau pour retirer la terre, elles se désagrègent complètement.

Pour mieux comprendre le comportement de la terre argileuse et mieux appréhender le traitement des céramiques, nous avons entrepris quelques analyses (FTIR et XRD, ainsi que la microscopie de lames minces). Nous avons pu connaître la composition de la terre argileuse et des céramiques, mais aussi comprendre que celles-ci ne se sont pas vitrifiées lors de la cuisson (température de cuisson trop basse), ce qui explique leur mauvaise cohésion.

Nos nombreuses recherches littéraires nous ont aidés à trouver des méthodes qui nous permettent de mener à bien les différentes étapes de traitement des céramiques, à savoir la pré-consolidation, le nettoyage, la consolidation permanente et le remontage. D'après les informations tirées des sources littéraires, nous avons mis en œuvre différents tests :

- Nettoyages mécaniques, par airbrush et par peeling (par abrasion et par pelage d'adhésif) ;
- Compatibilité de matériaux (produits chimiques et consolidants/épaississants) pour sélectionner l'adhésif le mieux adapté au traitement de pré-consolidation et de consolidation permanente, ainsi que l'épaississant le plus adéquat pour pouvoir appliquer les produits en surface (sur la terre), sous forme de pâte, pour plusieurs heures ;
- Nettoyages chimiques avec différents produits, incluant des acides, des sels alcalins, des complexants et d'autres produits spécifiques comme l'AB®57 et l'échangeur d'ions, ayant pour but, appliqués sous forme de cataplasme, de ramollir la terre pour faciliter son retrait.

Les tests ont révélé que les nettoyages mécaniques sont soit, trop peu efficaces pour retirer la terre, soit trop agressifs pour les céramiques, car ils arrachent leur surface originelle. D'après la littérature et les tests mis en œuvre, nous en avons conclu que le meilleur consolidant était le Paraloid® B72 (5% dans toluène), car il est le plus résistant aux traitements chimiques et le plus stable dans le temps (en sachant qu'une consolidation n'est jamais complètement réversible). Pour appliquer les produits chimiques sous forme de cataplasme, nous avons sélectionné la pulpe de cellulose, car elle est la plus inerte, la plus facile à manipuler et probablement la moins chère.

Nous avons procédé en plusieurs étapes pour sélectionner le meilleur produit chimique pour ramollir la terre. Dans un premier temps, nous avons testé huit produits, avec des concentrations et temps d'application différents, sur des éprouvettes de terre cuite recouvertes de la terre d'enfouissement des céramiques. Nous avons fait une première sélection de trois produits que nous avons ensuite appliqués sur quelques tessons des céramiques originales. Au final, le bicarbonate de sodium a donné de meilleurs résultats que les autres produits, mais nous avons constaté que la pré-consolidation n'est pas nécessaire pour toutes les céramiques. Les céramiques entièrement nettoyées ont ensuite été consolidées au Paraloid® B72 (5% dans toluène), puis remontées également avec du Paraloid® B72 en tube (50% dans acétone). Nous avons ensuite créé un conditionnement pour les céramiques traitées.

Nous tenons à préciser que ce traitement ne peut être appliqué de la même manière sur toutes les céramiques. Chacune présente une problématique différente, selon sa composition, sa cuisson et son enfouissement, et doit, par conséquent, être traitée selon sa sensibilité et ses nécessités.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zentrum der vorliegenden Arbeit stehen die archäologischen Keramiken von Tremona, bei Mendrisio (TI), in der Schweiz. Die Archäologen haben dort Brandbestattungsgräber aus der La Tène Epoche und der römischen Zeit entdeckt. In diesen Gräbern fand sich ein vielfältiges Grabmobiliar, unter anderem Gegenstände aus Metall und zahlreiche Keramikerzeugnisse.

Die Archäologen des Tessiner Ufficio dei Beni Culturali stiessen bei der Reinigung der Keramik rasch auf Probleme, da sie von einer stark haftenden Lehmschicht bedeckt war. Die Keramik selber ist sehr mürbe und schwach gebunden. Bei der Trocknung zeigt der Lehm eine Tendenz zur Schuppenbildung, wobei die Oberfläche der Keramik mitgerissen wird. Versucht man den Lehm im Wasserbad von der Oberfläche zu entfernen, zersetzt sich die Keramik gänzlich.

Um das Verhalten des Lehms besser zu verstehen und die Reinigung der Keramik zu optimieren, haben wir folgende Analysen durchgeführt: FTIR, XRD und Mikroskopie von Dünnschliffen. Wir konnten die Zusammensetzung des Lehms und der Keramik ermitteln und als Ursache für die schlechte Kohäsion der Keramik die zu geringe Brenntemperatur bestimmen.

Mehrere Untersuchungen wurden durchgeführt, um die verschiedenen Behandlungsabläufe zu definieren: Vorfestigung, Reinigung, definitive Festigung und Remontage. In Anlehnung an literarische Quellen haben wir verschiedene Tests ausgearbeitet:

- Mechanische Reinigung mit Airbrush und Peeling (Abrasion und Abschälen mit Klebstoff);
- Materialverträglichkeit (chemische Produkte, Festigungs- und Verdickungsmittel) um den besten Klebstoff für die verschiedenen Festigungen und das beste Verdickungsmittel für die Gelbfärbung

auszuwählen. Die Verdickung ermöglicht eine lange Einwirkungszeit der chemischen Produkte auf der Oberfläche.

- Chemische Reinigung mit verschiedenen Produkten wie Säuren, alkalischen Salzen, Chelaten (Komplexbildnern) und anderen speziellen Mitteln wie AB®57 und Ionenaustauscher, in Form von Gelen und Kompressen, mit dem Ziel, die Erde aufzuweichen und somit ihre Entfernung zu erleichtern.

Die mechanischen Tests haben gezeigt, dass sie entweder zu wenig wirksam sind, um die Erde wegzunehmen, oder zu aggressiv, weil sie die Keramikoberfläche angreifen. Ausgehend von der Literatur und unseren Testresultaten, ging das Acrylharz Paraloïd® B72 (5% in Toluol) als bestes Festigungsmittel hervor. Es ist das stabilste und dauerhafteste Produkt (im Wissen, dass eine Festigung nie gänzlich reversibel ist). Wir haben Zellulose als Verdickungsmittel gewählt, weil sie äusserst inert, preisgünstig und einfach in der Handhabung ist.

Verschiedene Prüf-Etappen waren nötig, um das beste chemische Produkt zur Aufweichung der Erde auszuwählen. Zu Beginn haben wir acht Produkte mit verschiedenen Konzentrationen und Applikationsdauern auf Terrakottaprüflingen getestet, die von der gleichen Erde wie die Keramik bedeckt waren. Davon ausgehend wurden drei Produkte ausgewählt und auf den originalen Keramiken erprobt. Am Ende dieser Testserie zeigte sich, dass Natriumbikarbonat die besten Resultate ergab. Eine Vorfestigung war nicht in allen Fällen notwendig. Die gereinigte Keramik wurde anschliessend mit Paraloïd® B72 (5% im Toluol) gefestigt und geklebt (Paraloïd® B72 aus der Tube 50% in Aceton). Anschliessend wurde eine Verpackung für die behandelte Keramik entwickelt.

Zum Schluss ist zu betonen, dass dieses Vorgehen nicht auf sämtliche keramische Erzeugnisse übertragen werden kann. Jede Keramik weist je nach Zusammensetzung, Brand und Art der Bodenlagerung eine unterschiedliche Problematik auf, weshalb sie eine auf die spezifische Empfindlichkeit und Notwendigkeit abgestimmte Behandlung erfordert.

RIASSUNTO

In questo lavoro, si tratta di ceramiche archeologiche che provengono del sito di Tremona, vicino a Mendrisio (TI), in Svizzera. Gli archeologi hanno scoperto delle tombe a cremazione del periodo di La Tène e dell'epoca romana. Queste sepolture contenevano un importante mobilio funerario nel quale si trovavano oggetti in metallo e una grande varietà di ceramiche.

Gli archeologi del Ufficio dei Beni Culturali del Ticino si sono trovati confrontati a un problema durante la pulizia delle ceramiche. Infatti, quest'ultime erano tenere, poco coerenti e ricoperte di terra argillosa molto aderente alla loro superficie. Seccandosi, l'argilla si scaglia e strappa con se questa superficie. Invece, se le ceramiche sono immerse nell'acqua per togliere la terra, si sciolgono completamente.

Per capire il comportamento della terra e meglio prevedere il trattamento delle ceramiche, abbiamo effettuato alcune analisi (XRD, FTIR e microscopia di lame sottili). Abbiamo potuto conoscere la composizione della terra argillosa e delle ceramiche, ma anche capire che le ceramiche non si sono vitrificate durante la cottura (temperatura di cottura troppo bassa), ciò che spiega la loro debole coesione.

Abbiamo fatto molte ricerche letterarie per trovare metodi che ci hanno permesso effettuare le varie tappe del trattamento delle ceramiche, cioè il pre-consolidamento, la pulitura, il consolidamento permanente e il rimontaggio. Secondo le fonti letterarie, abbiamo effettuato vari test :

- Puliture meccaniche, con l'airbrush e con il peeling (per abrasione e per pelame di un adesivo);
- Compatibilità di materiali (prodotti chimici e consolidanti/ispessenti) per selezionare il miglior adesivo per i trattamenti di consolidamento, e il miglior ispessente per poter applicare i prodotti in forma di pasta sulla superficie e per parecchie ore;
- Puliture chimiche con vari prodotti, come acidi, sali alcalini, agenti chelanti ed altri prodotti specifici come il AB®57 e lo scambio ionico, che hanno come obiettivo, applicati in forma di cataplasma, di rammollire la terra e facilitare il suo ritiro.

Abbiamo concluso che i test meccanici erano o troppo poco efficaci per ritirare la terra, o troppo aggressivi per le ceramiche, togliendo anche la superficie originale. Secondo la letteratura e i test, il Paraloid® B72 (5% in toluene) è il migliore consolidante, perchè è risultato il più resistente ai trattamenti chimici e il più stabile nel tempo (tenendo conto che un consolidamento non è mai completamente reversibile). Per applicare i prodotti in forma di cataplasma, abbiamo scelto la polpa di carta perchè è la più inerte, la meno cara ed è facile da manipolare.

Abbiamo proceduto in varie tappe per selezionare il miglior prodotto chimico per rammollire la terra. Per cominciare, abbiamo provato otto prodotti, con concentrazioni e tempi di applicazione diversi, su dei mattoncini di terra cotta ricoperti della terra dello scavo delle ceramiche archeologiche. Abbiamo scelto i tre migliori prodotti che abbiamo poi applicato sui frammenti delle ceramiche originali. In conclusione, il bicarbonato di sodio ha ottenuto i migliori risultati, abbiamo però notato che il pre-consolidamento non è necessario per tutte le ceramiche. Le ceramiche interamente pulite sono state consolidate con il Paraloid® B72 (5% in toluene), e rimontate anche con il Paraloid® B72 in tubo (50% in acetone). Abbiamo poi fatto un imballaggio per le ceramiche trattate.

Vogliamo precisare che questo trattamento non può essere applicato nella stessa maniera su tutte le ceramiche. Ognuna ha una problematica diversa et deve, per ciò, essere trattata secondo la sua sensibilità e le sue necessità.

ABSTRACT

This paper deals with archaeological ceramic samples excavated in the archaeological site of Tremona, a Swiss village, near of Mendrisio (TI). The archaeologists discovered some cremation tombs dating from La Tène and Roman Periods. In these sepultures rich funeral furniture containing some metallic objects and a lot of ceramic objects was found.

During the cleaning of the ceramic samples, the archaeologists of the Ufficio dei Beni Culturali of Tessin were confronted to a problem. Some of the samples are very soft, lack of internal cohesion and very sticky earthy deposit cover their whole surface. When dry, the earthy deposit flakes and takes away the outer surface layer. If the ceramic fragments are soaked in water, they are completely disintegrated.

To understand the behavior of the clay and better anticipate the possible treatment of the ceramic objects, some analysis (FTIR, XRD and optical microscopy on thin sections) were conducted. Thanks to these, we could know the composition of the earthy deposits and of the ceramics, and also explain the low cohesion of some ceramic objects: it was due to an inadequate firing (at too low temperature).

An extensive literature review was performed in order to find the best suited methods for the ceramic treatment by gradual steps, i.e. the pre-consolidation, the cleaning, the consolidation and the reassembly of ceramic objects from the broken fragments. Based on the literary sources, different tests were selected and performed:

- Mechanical cleaning with airbrush and by peeling and by abrasion using an adhesive;
- Material compatibility (between cleaning chemical products and consolidants/thickenings) to choose the best suited adhesive for the pre-consolidation and permanent consolidation treatments, and the best thickening to apply the chemical products as poultice and in this way, have an application on the surface which can last for many hours;
- Chemical cleaning with different kinds of products, like acids, alkaline salts, chelating agents and other products like AB® 57 and an ion exchanging resin, which, applied as poultice, aim at making the earthy deposits softer and allow an easier removal.

The conducted tests revealed that the mechanical cleaning methods are either not enough effective to remove the earthy deposits, or too aggressive for the ceramics removing also the original surface. Based on the literature review and on the results on the conducted tests, we have concluded that Paraloid® B72 (5% in toluene) was the best consolidant, due to its resistance to chemical products and to its high stability on the long term (knowing that a consolidation treatment is never completely reversible). To apply the chemical products as a poultice, we choose to use cellulose pulp, because it is inert, easy for manipulation and probably the cheapest.

Some trials were necessary to select the best chemical product to soften the earthy deposits. We started with 8 products, using different concentrations and different application times, on ceramic testing bricks prepared by firing the same earth present in the cremation tomb where the ceramic fragments were found. Then, the 3 products showing the best behaviour were selected and they were applied on the ceramic fragments. The best result was obtained using sodium bicarbonate. It was noticed that pre-consolidation is not necessary for every kind of ceramic sample. Once the ceramic fragments were completely cleaned, they were consolidated using Paraloid® B72 (5% in toluene), and reassembled also using Paraloid® B72 in tube (50% in acetone). The treated ceramic samples were then put in a "conditioned package".

Finally, we would like to specify that the followed ceramic treatment cannot be applied in the same way on every kind of ceramic. Each ceramic type, according to its composition, firing and burial conditions, has a different problematic and, in this way, has to be treated according to its condition and to its necessities.

1. INTRODUCTION

L'Ufficio dei Beni Culturali (UBC) de Bellinzona (TI) en Suisse a récemment effectué des fouilles (2006-2007) dans le village de Tremona, près de Mendrisio. Les archéologues ont mis au jour des tombes de la période de La Tène finale avec un important mobilier céramique. On retrouve des céramiques grossières, fines, avec une technologique simple (modelé à la main) ou plus complexes. Les archéologues se sont vite retrouvés face à un problème pour les nettoyer : elles sont mal cuites et recouvertes d'argile, ce qui rend le nettoyage très difficile.

Avec l'aide de Luisa Mosetti, archéologue à l'UBC, nous avons choisi un nombre restreint de céramiques pour pouvoir effectuer des tests de nettoyage. Nous avons sélectionné quatre céramiques provenant de la même tombe, mais avec des caractéristiques différentes : une céramique grossière très sensible à l'eau, deux céramiques fines peu cohésives, dont une est quasiment entière, et l'autre fragmentaire, ainsi qu'une céramique plus résistante et moins recouverte de terre.

Ce travail a pour objectif de trouver une méthode adéquate de nettoyage pour chacune de ces céramiques peu cohésives, sans les endommager davantage. Dans la mesure du possible, l'UBC nous demande de nettoyer les quatre céramiques, de les consolider et de les remonter. L'intervention de nettoyage est nécessaire pour les archéologues afin qu'ils puissent étudier ces céramiques.

Pour mener à bien notre projet, nous avons dû nous inspirer de la littérature sur la restauration de constructions en terre crue, de tableaux, mais surtout de peintures murales. Il n'existe que peu d'informations sur la problématique du nettoyage des céramiques, car il s'agit d'un matériau généralement solide. Lorsque certains auteurs évoquent le cas de céramiques pulvérulentes, ils ne font que survoler, voire éviter, le sujet du traitement.

Nous avons effectué une partie du travail à l'UBC à Bellinzona pour prendre connaissance des céramiques, et de la documentation présente sur place (chapitres 2, 3 et 4). Pour effectuer nos tests de nettoyage, nous avons créé des éprouvettes en terre cuite que nous avons fabriquées à la SUPSI (Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana) à Lugano. L'UBC n'ayant pas de restaurateur, ni de laboratoire équipé, nous avons effectué la partie expérimentale au Museum für Urgeschichte à Zug, sous l'œil bienveillant de Giacomo Pegurri.

Pour introduire notre travail, parler de la nature et de la fabrication des céramiques est un passage obligé (chap. 2) avant d'observer et analyser les céramiques étudiées (chap. 4 et 5). Une partie théorique traite des méthodes et des produits qui peuvent être utilisés lors des tests pour chacune des étapes de traitement (chap. 6). Ces produits seront repris dans la partie expérimentale (chap. 7) qui décrit la mise en œuvre et les résultats des tests que nous avons effectués pour obtenir une méthode convenable pour le nettoyage des céramiques archéologiques (chap. 8).

2. QU'EST-CE QU'UNE CERAMIQUE ?

Avant d'entrer directement dans la problématique des céramiques étudiées pour ce travail, il est essentiel de rappeler leur nature, leur composition et les méthodes de leur fabrication. Pour introduire le sujet, nous pouvons donner cette définition : "La céramique est le résultat d'une action irréversible (cuisson) appliquée sur une terre argileuse"¹.

2.1. Les argiles

L'argile est une "matière minérale principalement composée de silicates d'alumine hydratés, qui devient plastique quand elle est humide, et dure comme la pierre quand elle est soumise à l'action du feu"².

2.1.1. Caractéristiques chimiques et physiques

Les argiles sont des minéraux de nature inorganique provenant de la décomposition des feldspaths, des roches granitiques, et des roches métamorphiques formant la croûte terrestre. Parmi les argiles, il existe les argiles fibreuses, structurées en chaînes, souvent connues pour faire des cataplasmes (attapulgite et sépiolite), et les argiles à feuillets³. Ces dernières présentent une structure cristalline notamment composée de tétraèdres de silice (SiO_2) et d'octaèdres d'alumine (Al_2O_3)⁴ (fig.1 et 2)⁵ superposés en feuillets qui forment des particules de très petite taille ($< 2 \mu\text{m}$) et généralement plates⁶. Combinées à l'eau (H_2O), qui joue un rôle de liant entre les différents atomes et molécules grâce à ses groupes hydroxyles, elles portent le nom de silicates d'aluminium hydratés⁷. Les argiles ont la particularité d'être des roches plastiques, pour former une pâte modelable, et ont la capacité d'échanger des ions ($\text{Na}^+ \rightarrow \text{Ca}^{2+}$)⁸. Nous pouvons classer les argiles à feuillets en deux groupes : les argiles primaires et les argiles secondaires.

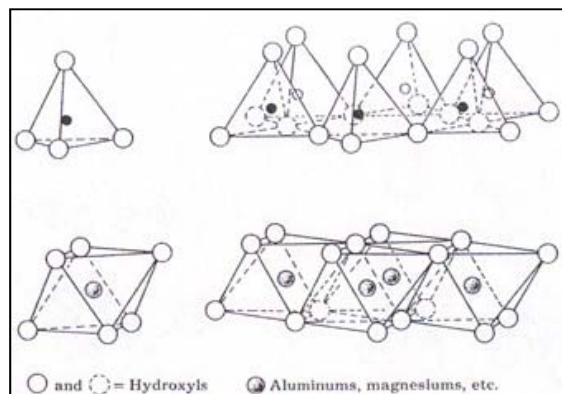


Fig. 1 : En-haut, les tétraèdres de silice ; en bas, les octaèdres d'alumine

¹ GIANNICCHEDDA E VOLANTE, 2007, P.9.

² RHODES, 1999, P.19.

³ HENDERSON, 2000, P.115.

⁴ HENDERSON, 2000, P.110; WARREN, 1999, P.40.

⁵ Références bibliographiques présentes dans la liste des figures en fin de travail de mémoire.

⁶ PIGNAL, 2008, P.15 ; RHODES, 1999, P.16, VELDE, 2000, P.24 ; HENDERSON, 2000, P.113 ; BERDUCOU, 1990, P.80.

⁷ HENDERSON, 2000, P.113; WARREN, 1999, P.42.

⁸ JORNET, 2007, P.9.

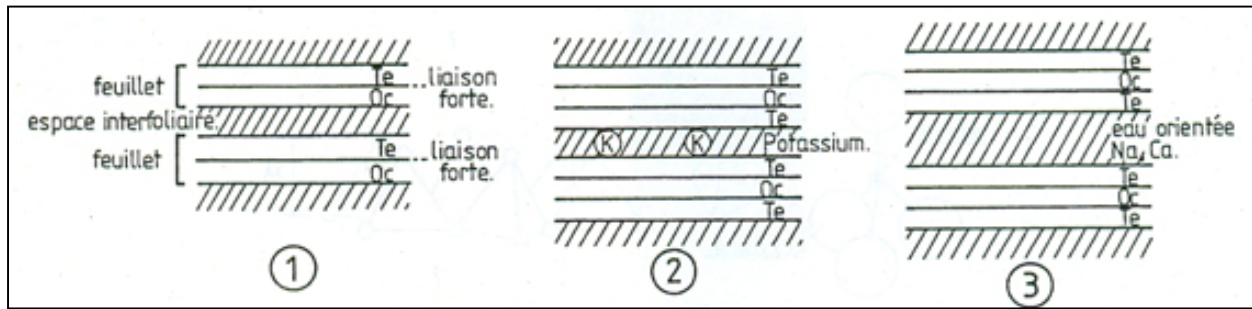


Fig. 2 : Disposition en feuillets des tétraèdres de silice et des octaèdres d'alumine. 1. Kaolinite ; 2. Illite ; 3. Montmorillonite.

2.1.2. Les argiles primaires

Les argiles primaires, ou argiles résiduelles, sont formées et demeurent à l'emplacement de leur roche mère, généralement feldspathique. Cette dernière a été transformée par l'action de l'eau d'infiltration qui a évacué les particules solubles, ne laissant alors qu'une argile relativement pure⁹. Les argiles kaolinitiques ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), faisant partie des argiles primaires, ont une structure dense à deux couches, une de silice et une d'alumine, ce qui les rend peu plastiques (fig.2). Contenant peu d'impuretés, elles ont, par conséquent, une couleur assez claire¹⁰.

2.1.3. Les argiles secondaires

Les argiles secondaires, ou sédimentaires, sont déportées loin de leur roche mère par l'action du vent, des glaciers ou de l'eau. Les argiles transportées par l'eau sont généralement plus fines, mais peuvent récolter une certaine quantité d'impuretés, tels que des oxydes de fer ou des matériaux organiques¹¹. Elles proviennent de roches plutôt basiques, comme les roches volcaniques. Elles ont une structure en trois couches, deux couches de silice qui renferment une d'alumine, qui permettent d'établir des liaisons avec les molécules d'eau et ceci leur confère une grande plasticité. Cependant, leur capacité à absorber l'eau implique aussi qu'elles ont tendance à avoir un fort retrait lors du séchage et craqueler lors de la cuisson. La présence d'ions métalliques (calcium, magnésium, fer) confère à ces argiles une couleur plus ou moins foncée à l'argile cuite. Les argiles secondaires les plus utilisées sont la montmorillonite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) et l'illite (argile potassique). Les illites sont des minéraux à granulométrie fine (0.1-0.3 μm) mais sont moins plastiques que la montmorillonite (fig.2)¹².

⁹ HENDERSON, 2000, p.112 ; RHODES, 1999, p.18.

¹⁰ HENDERSON, 2000, p.114 ; WARREN, 1999, p.44 ; CRONYN, 1990, p.141.

¹¹ HENDERSON, 2000, p.112 ; RHODES, 1999, p.18.

¹² HENDERSON, 2000, p.114 ; WARREN, 1999, p.44 ; CRONYN, 1990, p.141.

2.2. Les dégraissants

Un dégraissant est un matériau non argileux dont le rôle est de diminuer la plasticité de l'argile pour la rendre plus facilement malléable et plus résistante au séchage ainsi qu'aux chocs thermiques. Les dégraissants de nature organique, comme de la paille hachée ou du fumier, sont brûlés lors de la cuisson et donnent ainsi une céramique poreuse et légère. Les dégraissants inorganiques, plus courants (sable (quartz), coquillages, calcaire, basalte, chamotte¹³) ont la propriété de réagir avec l'argile à de hautes températures atteintes lors de la cuisson. Les dégraissants peuvent être plus ou moins broyés selon le type de céramique (grossière ou fine) que l'on veut exécuter¹⁴.

2.3. Fabrication des céramiques

2.3.1. Préparation de la pâte

Avant de façonner l'argile, il est nécessaire de la préparer. La décantation est une étape qui permet de purifier les argiles, le plus souvent secondaires, comme la montmorillonite. La méthode consiste à tremper l'argile dans de grands bassins remplis d'eau et de laisser se séparer les particules présentes dans la terre. Les particules d'argile, plus légères, restent en suspension alors que les particules lourdes, comme certaines impuretés, se déposent dans le fond. Pour retirer les poches d'air de la pâte, il est nécessaire d'utiliser des méthodes physiques comme le pétrissage et le marcheage¹⁵. Une fois l'argile purifiée, il est possible d'y ajouter des dégraissants pour rendre la pâte moins plastique.

2.3.2. Façonnage, finitions et décors

Il existe plusieurs méthodes pour façonner une céramique¹⁶ :

- le modelage à la main, en formant une boule ensuite creusée¹⁷ ou en superposant des boudins d'argile (colombinage)¹⁸ ;
- le tour : lent (support tourné à la main mais n'ayant pas de rotation régulière) ou rapide (tour avec un axe et un plateau tournant, mis en mouvement avec les pieds) ;
- le moulage.

¹³ La chamotte est un dégraissant fait à base de céramiques pilées.

¹⁴ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.11 ; HENDERSON, 2000, p.129-130 ; BERGER *ET AL.*, 1999, p.25.

¹⁵ HENDERSON, 2000, p.115 ; BERDUCOU, 1991, p.83.

¹⁶ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.11-12; BERDUCOU, 1991, p.83-84 ; JORNET, 2007, p.13.

¹⁷ Les céramiques modelées ont généralement les parois épaisses et souvent irrégulières. BERDUCOU, 1991, p.83.

¹⁸ Cette méthode permet d'obtenir de grands récipients. BERDUCOU, 1991, p.83-84.

La surface est ensuite lissée lorsque la céramique est encore humide pour effacer les jointures ou affiner les parois de la céramique. Une fois la pâte sèche, le polissage peut être effectué à l'aide d'une pierre polie et permet de diminuer la porosité de la surface¹⁹.

Différents types de décors peuvent être appliqués une fois les finitions terminées²⁰ :

- Décors par ajout de matière (décors plastiques ou métaux appliqués sur la pâte encore humide, décors peints, revêtements argileux ou vitreux appliqués sur la céramique sèche) ;
- Décors par changement ou retrait de matière (décors imprimés sur la pâte humide ou incisés sur la céramique sèche).

2.3.3. Séchage et cuisson

Le séchage est l'étape au cours de laquelle l'eau libre s'évapore de la pâte argileuse et les particules d'argiles se rapprochent. L'importance du retrait (5-10%) et l'éventuelle apparition de fissures dépendent du type d'argile, ainsi que de la quantité de dégraissants présents dans la pâte²¹. Différents facteurs peuvent influencer le séchage des céramiques comme la quantité d'eau présente dans l'argile, le type d'argile, la température et l'humidité relative de l'environnement, etc.²².

2.3.3.1. *Processus de cuisson*

Trois facteurs sont importants à gérer pour obtenir une bonne cuisson des céramiques²³ :

- La durée de la cuisson. Etroitement liée à la température de cuisson, elle se définit en quatre phases : le chauffage initial, la température maximale atteinte, le temps du palier maximal de température et le refroidissement (fig.3). Pendant la phase de cuisson, les céramiques subissent un retrait d'environ 1%.
- La température de cuisson. Elle dépend du type d'argile utilisé : les terres cuites cuisent en-dessous de 1000°C (fig.3), les faïences entre 900°C et 1200°C, les grès entre 1200°C et 1350°C et enfin les porcelaines autour de 1400°C.

¹⁹ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.13.

²⁰ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.13-14.

²¹ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.14; HENDERSON, 2000, p.127-128; BERDUCOU, 1991, p.84-85 ; JORNET, 2007, p.13.

²² HENDERSON, 2000, p.127-128.

²³ HENDERSON, 2000, p.130-131 ; JORNET, 2007, p.17.

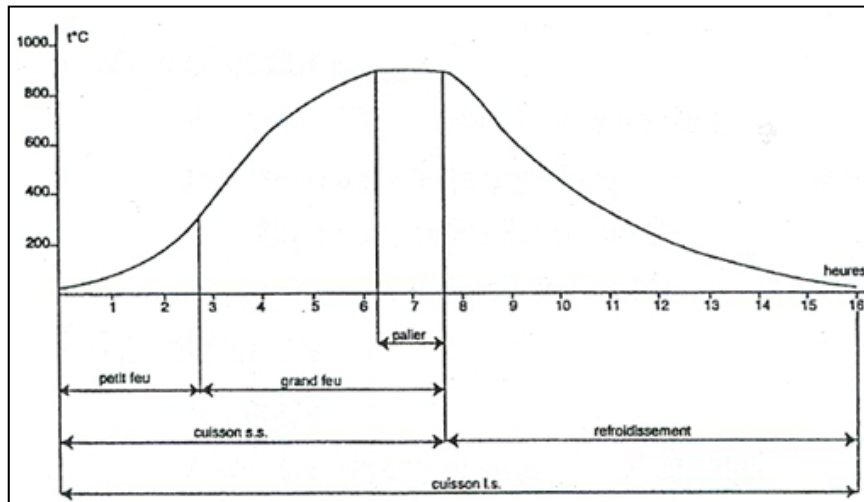


Fig. 3 : Phases et températures de la cuisson des céramiques

- L'atmosphère du four. Oxydante ou réductrice, elle est gérée durant la cuisson et le refroidissement du four et peut avoir une influence sur la couleur, la dureté, le retrait et la porosité des céramiques. Pour une atmosphère oxydante, on laisse pénétrer l'oxygène dans le four et on peut utiliser du bois sec comme combustible ; elle rend les céramiques rougeâtres ("céramiques à pâte claire")²⁴. Une atmosphère réductrice est privée d'oxygène : il est possible d'utiliser des bois humides, produisant beaucoup de fumée ou de boucher la cheminée du four ; elle rend les céramiques brunes à noires ("céramique à pâte grise")²⁵ (fig.4).

La cuisson provoque sur la céramique des transformations chimico-minéralogiques irréversibles qui se passent à un certain niveau de température. L'eau de constitution s'évapore autour de 500°C, alors que les carbonates présents dans l'argile et les dégraissants organiques brûlent et disparaissent entre 800 et 900°C²⁶.

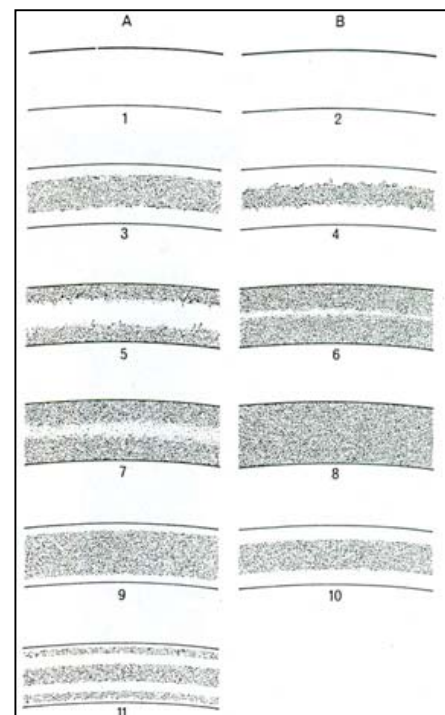


Fig. 4 : Couleur des pâtes céramiques selon le mode de cuisson. A. Céramique épaisse; B. Céramique fine. En clair, cuisson oxydante; en grisé, cuisson réductrice.

²⁴ La couleur rouge est due à la présence d'oxydes de fer présents dans la pâte qui s'oxydent avec l'air lors de la cuisson. BERDUCOU, 1991, p.87 ; JORNET, 2007, p.17.

²⁵ GIANNICCHEDA E VOLANTE, 2007, p.16; HENDERSON, 2000, p.130-131 ; BERGER *ET AL.*, 1999, p.27 ; JORNET, 2007, p.19.

²⁶ JORNET, 2007, p.22.

2.3.3.2. Types de four

Actuellement, les archéologues comptabilisent trois types de four (fig.5)²⁷ :

- Les fours ouverts (du Néolithique jusqu'à la fin de l'Âge du Bronze)²⁸ : les céramiques sont empilées sur le sol ou dans une fosse et recouvertes de combustible. La température atteint les 800-900°C, avec un minimum de 600°C, mais n'est pas contrôlée²⁹.
- Les fours à chambres séparées (dès la fin de l'Âge du Bronze) : une sole³⁰ sépare la première chambre, destinée à l'empilement des céramiques, de la seconde, réservée pour le combustible.
- Les fours à moufle : les céramiques sont placées dans une chambre complètement séparée du foyer et de la cheminée. Ils ont surtout été utilisés pour les productions industrielles.

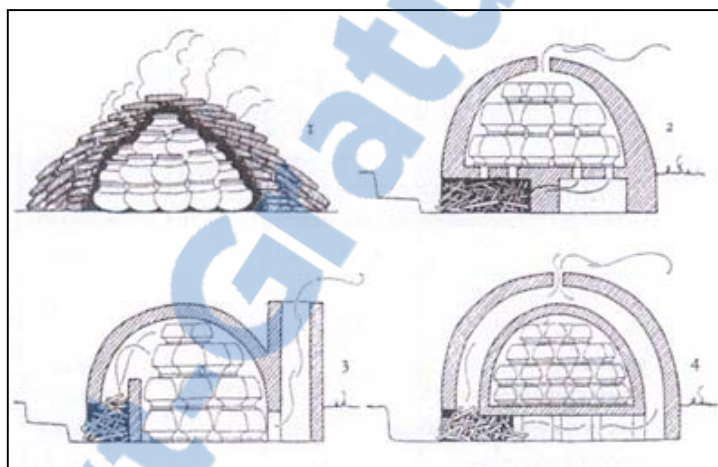


Fig. 5 : Types de fours: 1. Four ouvert ; 2. et 3. Fours à chambre séparée ; 4. Four à moufle

2.4. L'altération des céramiques archéologiques

La céramique est un matériau réputé pour être très résistant, c'est pourquoi il s'agit du mobilier archéologique le plus retrouvé par les archéologues. Mais elles peuvent se dégrader lors de l'enfouissement jusqu'à être en équilibre avec le milieu. Une fois mises au jour, cet équilibre est rompu et l'altération est réactivée (fig.6)³¹.

²⁷ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.15-16.

²⁸ GIANNICEDDA E VOLANTE, 2007, p.15-16 ; DE MICHELI SCHULTESS, 2007.

²⁹ HENDERSON, 2000, p.135.

³⁰ Paroi d'argile perforée placée entre les deux chambres du four servant à laisser passer la chaleur tout en soutenant les céramiques (dans le cas du four vertical).

³¹ BERGERON, 1991, p.7.

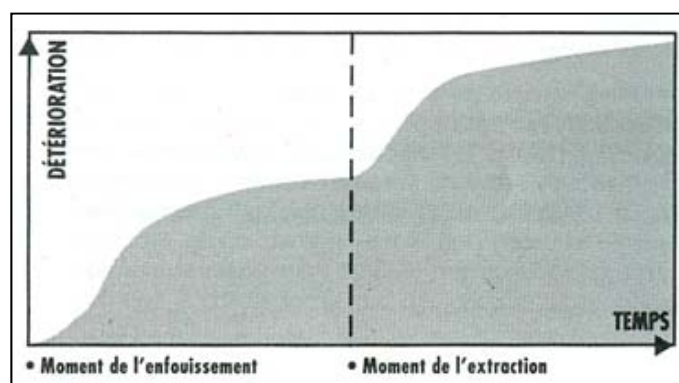


Fig. 6 : Evolution de l'altération dans la vie d'un objet archéologique

Le facteur de dégradation menant souvent à l'abandon de la céramique pendant sa période d'utilisation, est la casse. Plus une pâte est dure et bien cuite (vitrifiée), plus elle est résistante à l'usure et à l'érosion, et plus elle est sensible aux chocs mécaniques. Lorsque la pâte est tendre et mal cuite, il se passe le schéma inverse³². La résistance d'une céramique dépend de sa cohésion, de sa dureté et de sa porosité acquis lors de la cuisson, mais aussi de la composition du sol d'enfouissement³³. La porosité est un facteur intrinsèque qui joue un rôle important dans les mécanismes de dégradation suivants³⁴ :

- L'absorption de l'eau : sur le long terme, une absorption peut provoquer une dilatation des tessons de céramique et une dissolution, par la présence d'eau, de certains composants présents dans la pâte (hydrolyse).
- L'acidité du sol : un sol acide peut également avoir un impact sur les inclusions en calcaires³⁵.
- Le gel : l'eau contenue dans les pores augmente de volume en gelant (+ 9%) appliquant alors une pression dans la structure interne des céramiques. Les cycles gel-dégel fragilisent et risquent donc de les faire éclater³⁶.
- Les sels solubles : les sels présents dans le sol migrent avec l'eau dans les pores du matériau. Ils ne posent pas de problèmes majeurs tant qu'ils sont maintenus en solution lors d'un degré de saturation en humidité dans le sol. Dès que la céramique sèche, ils affleurent à la surface avec l'évaporation de l'eau et cristallisent (efflorescences). Ils cristallisent également à l'intérieur des pores provoquant alors une pression interne (subefflorescences). Les cycles de cristallisations et de re-solubilisation, souvent causés par des fluctuations du degré de saturation en eau, peuvent provoquer l'effritement des tessons³⁷.

³² BERDUCOU, 1991, p.90.

³³ BERDUCOU, 1991, p.90 ; BERGERON, 1991, p.8 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.22.

³⁴ La porosité peut atteindre 15% du volume d'une céramique cuite à basse température. BERDUCOU, 1991, p.91.

³⁵ CAVARI, 2007, p.66 ; BERDUCOU, 1991, p.91-92 ; BERGERON, 1991, p.8 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.24.

³⁶ BERDUCOU, 1991, p.91-92 ; BERGERON, 1991, p.14 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.24.

³⁷ BERDUCOU, 1991, p.92-94 ; BERGERON, 1991, p.14 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.24.

- Les sels insolubles : ils peuvent former une concrétion volumineuse à la surface de la céramique et ne sont plus solubles dans l'eau³⁸.
- L'érosion mécanique : l'érosion des surfaces et des tranches est plus rapide sur une céramique tendre, la rendant parfois rugueuse (à cause des dégraissants affleurant, de détachement de particules ou de grains, ou d'émiettement). Lorsque les céramiques sont en mauvais état de conservation, il n'est souvent plus possible de détecter la présence d'un engobe ou d'un revêtement³⁹.
- La pollution du sol : des sels métalliques (potassium, fer, etc.), provenant de la corrosion d'objets en métal environnants, et certains "complexes organiques" peuvent colorer les céramiques. Le fer réduit présent dans la pâte peut parfois s'oxyder tachant la céramique en rouge⁴⁰.
- Les organismes vivants : insectes, bactéries, racines peuvent parfois fragiliser les céramiques⁴¹.

³⁸ BERDUCOU, 1991, p.94.

³⁹ BERGER *ET AL.*, 1999, p.27 ET 54 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.24 ; BERDUCOU, 1991, p.90.

⁴⁰ BERDUCOU, 1991, p.95.

⁴¹ BERGERON, 1991, p.9 ; CAVARI, 2007, p.66.

3. LES CERAMIQUES ETUDIEES

3.1. Contexte historique

3.1.1. Période de La Tène

La période de La Tène se situe chronologiquement dans la seconde partie de l'Âge du Fer. Précédée par la période de Golasecca⁴², la période laténienne commence au Tessin dès le moment où les Celtes descendent vers le Sud, vers la fin du 5^e et le début du 6^e siècle av. J.-C.

La région du Tessin est divisée en trois zones géographiques, présentant, entre autres, des divergences dans les styles de céramiques ou les rites funéraires : la zone de Bellinzona, la zone au sud du lac de Verbano, ou lac Majeur (axe commercial Nord-Sud), dont l'un des centres est Golasecca, et la zone de Cà Morta autour de Côme qui comprend également le Sottoceneri dont le site principal est Tremona (commerce autour de Côme)⁴³. C'est à partir du 1^{er} siècle av. J.-C. que commence la romanisation au Tessin⁴⁴.

On note une certaine continuité dans les céramiques de La Tène par rapport aux céramiques de la période de Golasecca, avec tout de même quelques évolutions, comme les gobelets carénés⁴⁵ devenant ovoïdes, ainsi que de nouvelles formes, telles que les urnes ovoïdales, les coupes à lèvre rentrante et les vases *a trottola*⁴⁶. On note également que la pâte est généralement bien épurée et que la cuisson peut varier selon les types de céramiques. Au niveau de la décoration, on retrouve des décors simples à l'engobe, à l'estampille ou au peigne⁴⁷.

3.1.2. Rites et structures funéraires

Pratiqué sporadiquement dès la fin de l'Age du Bronze, le rite d'incinération, côtoyant l'inhumation, est présent sur le Plateau suisse de La Tène finale, autour du 1^{er} s. av. J.-C.⁴⁸. Le défunt était brûlé, avec ses vêtements et des offrandes, sur un bûcher préalablement aménagé. Les ossements étaient ensuite

⁴² La période de Golasecca au Tessin correspond à la période de Hallstatt dans l'ouest de la Suisse. Elle tire son nom d'une ville de Lombardie qui était particulièrement bien placée pour les échanges commerciaux entre "les Etrusques, les pays méditerranéens et l'Europe continentale". DE MICHELI SCHULTHESS, 2007, p.5.

⁴³ DE MICHELI SCHULTHESS, 2007, p.5-6 ; BERGER *ET AL.*, 1999, p.224.

⁴⁴ BERGER *ET AL.*, 1999, p.224.

⁴⁵ Dont le profil est marqué par une zone saillante et souvent anguleuse.

⁴⁶ DE MICHELI SCHULTHESS, 2007, p.6.

⁴⁷ DE MICHELI SCHULTHESS, 2007, p.7.

⁴⁸ Les informations sur les rites funéraires de la période de La Tène étant rares, nous nous sommes référés à des rites de crémation datant de la fin de l'Age du Bronze à la fin de du premier Age du Fer, et de l'époque romaine. ANDREY, 2007, p.6 ; MOINAT ET DAVID-ELBIALI, 2003, p.259.

recupérés et déposés dans une urne ou, la plupart du temps, directement dans une fosse⁴⁹. Dans certains cas, une fosse circulaire est creusée et les ossements posés dans le fond, puis le tout rapidement recouvert ("fosses à comblement rapide") (fig.7). Dans d'autres cas, la fosse est renforcée par des stèles formant un coffre, au fond duquel les ossements sont déposés avec quelques récipients contenant des offrandes ("coffre carré et comblement différé") (fig.7). Parmi ces récipients, on peut parfois retrouver un contenant pour les liquides, un bol pour boire ainsi qu'une, voire plusieurs écuelles pour les aliments⁵⁰.

Les lieux d'habitat laténiens étant peu fréquents, les archéologues étudient surtout le mobilier funéraire⁵¹. Les sépultures réellement aménagées datant de La Tène finale sont plutôt rares et généralement "isolées ou en petits groupes". Cette rareté peut laisser penser que les rites funéraires étaient différents (dispersion des cendres) et pouvaient se réaliser dans d'autres lieux, comme les habitats ou les sanctuaires⁵². Au Tessin, les découvertes de tombes datant de la fin de l'Âge du Fer – début de l'époque romaine

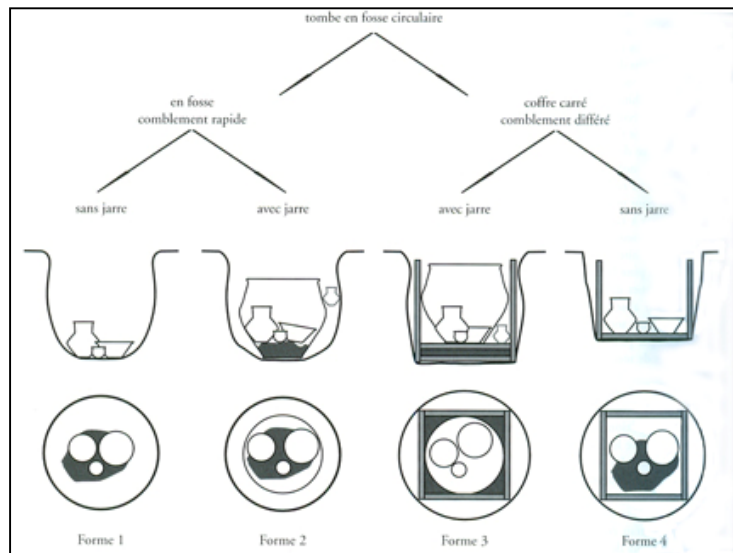


Fig. 7 : Types de tombe à incinération

ne sont pas très nombreuses. Mais le mobilier présent dans les sépultures de cette époque est habituellement assez important⁵³. On y retrouve fréquemment des "céramiques peintes de tradition tardo-laténienne"⁵⁴.

3.2. Les fouilles et leur environnement

3.2.1. Contexte géographique et géologique

La région du Tessin est géographiquement et géologiquement divisée en deux : d'une part le Sopraceneri, au Nord, formée de profondes vallées de type fluvio-glaciaire, creusées par des rivières et de vifs torrents ; d'autre part, le Sottoceneri, au Sud du Monte Ceneri, "caractérisée par l'imposant massif du Monte Generoso et par de considérables incisions fluviales, mais aussi par des collines arrondies, des cuvettes,

⁴⁹ MOINAT ET DAVID-ELBIALI, 2003, p.259 ; ANDREY, 2007, p.5 ; HALDEMANN, 2005, p.57 ; RONC, 2008, p.38.

⁵⁰ MOINAT ET DAVID-ELBIALI, 2003, pp.176 ET 261.

⁵¹ FLUTSCH ET ROSSI, 2002, p.332.

⁵² FLUTSCH ET ROSSI, 2002, p.339.

⁵³ FLUTSCH ET ROSSI, 2002, p.380.

⁵⁴ BERGER ET AL., 1999, p.52.

des terrasses fluviales et des dépôts glaciaires⁵⁵. Le site archéologique, où ont été trouvées les céramiques, se situe au Sud du Monte Ceneri, dans la région administrative du Mendrisiotto. Il se trouve plus précisément dans un quartier appelé Piasa dans le village de Tremona, situé à env. 2.5 km au Nord-Ouest de Mendrisio (fig.8).

Le site de Tremona se trouve au Sud-Est du Monte San Giorgio qui se trouve géologiquement dans la plus ample unité tectonique des Alpes méridionales dont les roches se situent au sud d'une faille, appelée la Linea Insubrica. Dans la zone de Tremona, affleurent plusieurs types de roches sédimentaires. Elles sont disposées stratigraphiquement en partant de la plus ancienne, la dolomie principale (ère triassique), roche de composition dolomitique. Dessus, se trouve la "seria di Tremona" (ère triassique) composée de calcaires et dolomie en partie marneuse.

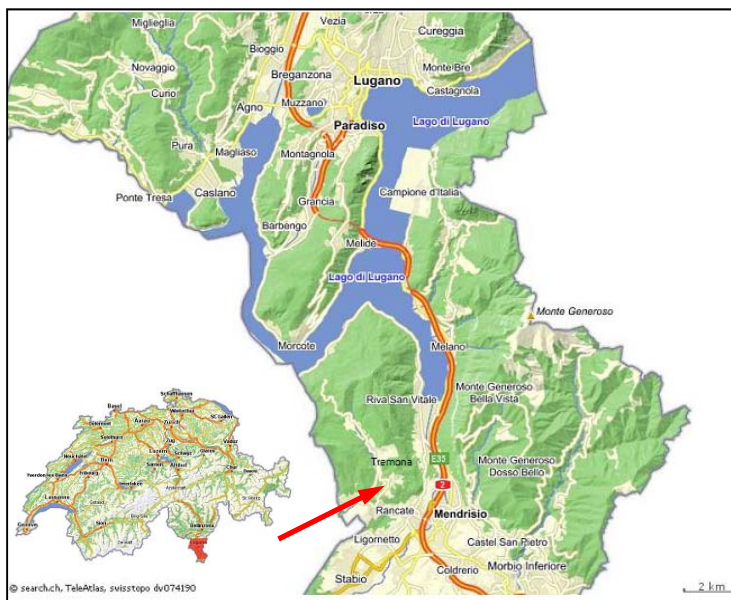


Fig. 8 : Situation géographique du village de Tremona

Au-dessus, se trouvent des brèches de composition calcaire, appelées "Macchia vecchia" et "Broccatello" (ère jurassique). Ensuite, on retrouve une roche contenant la "Radiolariti", roches à base de silice, et "Rosso Ammonitico lombardo", un calcaire marneux avec des fossiles (ère jurassique)⁵⁶. Enfin, au sommet, se trouvent différents dépôts fluviaux, glaciaires et glacio-lacustres définis par différents types de terre, comme le limon argileux, l'argile limoneuse légèrement sablonneuse et l'argile à couches laminaires parallèles. La couleur peut être variable, allant du gris-brun, au brun foncé passant par le gris, le brun-jaune, le jaune et le brun⁵⁷. Les archéologues ont décrit cette terre comme très argileuse, compacte et graveleuse, de couleur brun foncé. Exposée au soleil et à l'air libre, elle sèche et devient dure et compacte, alors qu'au contact de la pluie, elle devient boueuse⁵⁸.

Nous avons effectué une granulométrie de la terre d'enfouissement pour avoir une idée de la finesse du sédiment déposé sur les céramiques. Elle nous a révélé que la terre contenait des granulats d'argile dont la taille est inférieure à 2 μm (APPENDICE I.1).

⁵⁵ BERGER *ET AL.*, 1999, p.224.

⁵⁶ FELBER *ET AL.*, 2000.

⁵⁷ BINI *ET AL.*, 2001, p.100.

⁵⁸ CALDERARA, 2006; CALDERARA, 2007.

3.2.2. Contexte archéologique

A Tremona, les archéologues ont mis au jour, lors de travaux urbains, des sépultures romaines, pour la première fois en 1979, puis en 1980, 1983 et 1993 : quatre tombes à incinération, deux à inhumation et une non fouillée⁵⁹. En 2006, de nouveaux travaux de construction ont dû être arrêtés, d'autres tombes ayant fait surface (fig.9). Cette fois, la zone concernée a été fouillée sur deux ans et a permis de découvrir une quarantaine de tombes, les plus anciennes datant de la fin de l'Âge du Fer et les plus récentes de l'époque romaine⁶⁰.

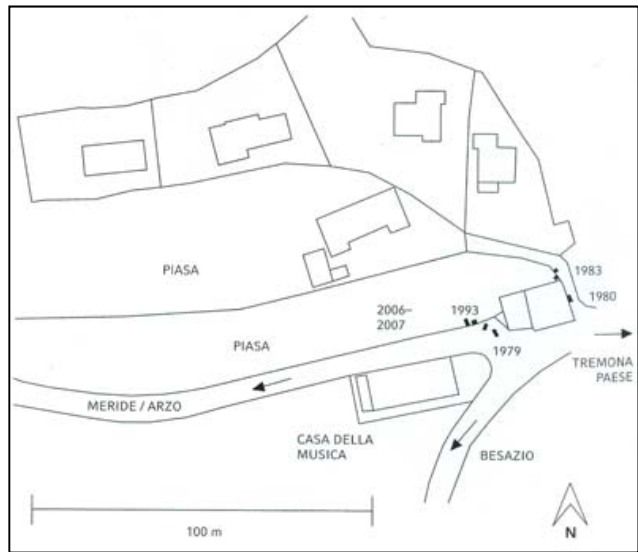


Fig. 9 : Situation des fouilles dans le village de Tremona

3.2.3. Mobilier funéraire

Parmi les sépultures retrouvées en 2006 et en 2007, 6 types ont pu être identifiés (fig.10) :

- a. Les fosses circulaires en pleine terre (fig.7, p.17) ;
- b. Les tombes en coffrage avec les parois, le fond et le couvercle en pierre (fig.7, p.17) ;
- c. Les tombes de grandes dimensions, rectangulaires, délimitées par des pierres⁶¹ ;
- d. Les fosses "à corolle" avec des parois obliques et délimitées par des pierres plates ;
- e. Les tombes en coffrage avec les parois, le fond et le couvercle en tuile⁶² ;
- f. Les tombes "à pétale" datant de l'Âge du Fer⁶³.

Un mobilier divers a pu être sorti de ces sépultures, comportant entre autres des ossements humains brûlés et animaux. Les archéologues ont également retrouvé des objets métalliques, tels que fibules en bronze et en fer, des objets tranchants et des clous en fer, et des monnaies en bronze⁶⁴. Dans les tombes les plus anciennes datant de l'Âge du Fer, on retrouve des *vases a trottola* ainsi que des verres à calice. Les céramiques qui nous concernent proviennent de la tombe à crémation 31 à coffrage en pierre

⁵⁹ DE MICHELI SCHULTESS, 2008, p.424 ; CARDANI E MOSETTI, 2007, p.174 ; CARDANI, 2007, p.29.

⁶⁰ CARDANI E MOSETTI, 2007, p.174 ; CARDANI, 2007, p.29 ; DE MICHELI SCHULTESS, 2008, p.424.

⁶¹ CARDANI, 2008B, p.209.

⁶² CARDANI E MOSETTI, 2007, p.175.

⁶³ CARDANI, 2008A, p.26.

⁶⁴ CARDANI E MOSETTI, 2007, p.175 ; CARDANI, 2007, p.29.

(To.31)⁶⁵, dans laquelle se trouvaient quelques fragments d'os et de bois brûlés, ainsi qu'un riche mobilier : des objets métalliques (un couteau, quatre fibules) et neuf récipients en céramique (fig.11-12). Les céramiques, bien qu'un peu écrasées, étaient bien ordonnées et superposées en trois empilements⁶⁶.



Fig. 10 : Tombes à incinération découvertes en 2007 à Tremona

Pour notre travail, nous avons décidé, avec Luisa Mosetti, archéologue, de choisir quatre céramiques provenant de la même tombe, mais de qualité différente :

- un **pyxide** ou gobelet en bobine (Rep.5), complet, partiellement fragmentaire
- un **petit pot** modelé à la main (Rep.11), fragmentaire
- une **coupelle** en céramique commune (Rep.12), fragmentaire
- un **vase a trottola** (Rep.14), fragmentaire



Fig. 11 : Tombe 31 mise au jour

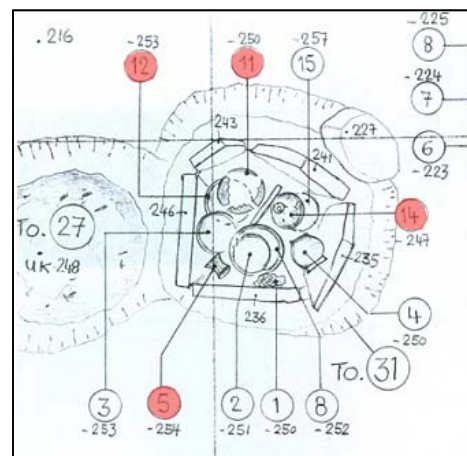


Fig. 12 : Mobilier trouvé dans la tombe 31

⁶⁵ Nous pouvons constater que ce type de tombe est assez similaire à la forme 4, datant de la période du Hallstatt sur le Plateau suisse, proposée par MOINAT ET DAVID-ELBIALI (2003, p.180).

⁶⁶ CALDERARA, 2007.

3.2.4. Conservation actuelle des céramiques

Sur le terrain, la terre était très argileuse et très compacte ; il était difficile de prélever les céramiques en dégageant la terre. De plus, une fois sèche, la terre devenait très dure ; il était donc préférable de prélever les céramiques en motte, pour ensuite retirer la terre en laboratoire. Le prélèvement et l'emballage (plastique bulle polyéthylène) ont été effectués individuellement pour chaque céramique amenée ensuite à l'Ufficio dei Beni Culturali (UBC) (env. 50 km).

Le bâtiment, où est installé l'UBC, abrite l'administration communale, la bibliothèque cantonale et des réserves d'objets organiques (livres, collections ethnographiques) et inorganiques (métal, céramiques). Le climat du bâtiment est géré par une ventilation centralisée ; il a fallu trouver un compromis pour satisfaire le personnel et les objets patrimoniaux : régler la température à 20°C et l'humidité relative à 50%. Les zones les plus sensibles (réserves permanentes) sont dotées d'une sonde qui mesure et enregistre les données climatiques. En attendant d'être restaurées, les céramiques arrivant des fouilles sont placées dans une réserve temporaire où le climat n'est pas contrôlé. Pour ce travail de recherche, les céramiques ont été sorties de leur emballage et les gros agglomérats de terre retirés. Les trois céramiques fragmentaires ont été disposées sur un support en polypropylène et les quatre céramiques ont été rangées individuellement dans un sachet Minigrip® pour éviter qu'elles ne s'assèchent. Dans l'attente du traitement, elles ont été conservées au réfrigérateur à 5°C pour garder une humidité relative élevée⁶⁷. Cependant, nous avons noté que certaines céramiques (petit pot) avaient développé des moisissures sur la surface de la terre pendant leur conservation au réfrigérateur. La céramique a probablement été trop humidifiée et le sachet Minigrip® a créé un environnement hermétique sans aération possible. Nous avons éliminé les moisissures avec de l'éthanol, puis nous avons ouvert tous les sachets Minigrip® pour laisser les céramiques "respirer" et éviter le développement d'autres moisissures.

⁶⁷ Le maintien des céramiques grossières et mal cuites à une humidité relative élevée permet de leur garder une certaine cohésion, car "la tension superficielle de l'eau agit comme un liant de la pâte". CAVARI, 2007, p.67 ; CRONYN, 1990, p.150.

4. DESCRIPTION ET CONSTAT D'ÉTAT DES CERAMIQUES

Dans ce chapitre, nous décrirons les quatre céramiques archéologiques sous la forme de tableaux, suite à un examen visuel. Nous présenterons ensuite les analyses que nous avons effectuées sur quelques-uns de leurs tessons. Elles nous permettront de mieux comprendre leur dégradation et leur comportement avec la terre d'enfouissement pour pouvoir mieux appréhender la problématique de nettoyage.

Pour la réalisation des tests de nettoyage décrits plus loin, nous avons fabriqué, avec la terre d'enfouissement des céramiques, des éprouvettes de terre cuite. Nous en avons cuites trois à différentes températures : une à 700°C, la seconde à 800°C et la dernière à 900°C (APPENDICE I.1.4). Nous les avons également fait analyser pour pouvoir effectuer une comparaison approximative avec les résultats concernant les céramiques.

4.1. Examen visuel, description et analyses

Pour effectuer une observation des quatre céramiques étudiées, nous avons effectué une description précise inspirée de fiches proposés par Fernanda Cavari, Clive Orton *et al.*, Régis Bertholon⁶⁸. Nous nous sommes basés sur des critères tels que les dimensions, la description de la pâte et de ses inclusions, ainsi que l'état de conservation. L'examen visuel s'est effectué sous loupe binoculaire et sur des lames minces faites sur les trois céramiques fragmentaires. L'observation des tessons sous loupe binoculaire a permis de mieux étudier les inclusions présentes dans la pâte et d'examiner l'état structural et superficiel des tessons de céramique (comportement de la terre avec la surface). Les inclusions ont été décrites selon les critères suivants : la couleur, l'opacité, la forme, leur taille et leur fréquence⁶⁹. Nous avons observé les lames fines sous microscope avec l'aide de Guido Corredig, assistant à la SUPSI. Nous avons pu identifier les minéraux présents dans la pâte ainsi que la disposition des particules d'argile (APPENDICE I.2.1.).

⁶⁸ CAVARI, 2007, p.83 ; BERTHOLON, 2007 ; ORTON *ET AL.*, 1997.

⁶⁹ ORTON *ET AL.*, 1997, p.71 ET PP.138-140.

4.1.1. Pyxide ou gobelet en bobine (Rep.5)

Nous n'avons pas effectué d'observation sur lame mince, pour éviter de sacrifier à cette fin un récipient encore entier.

Tableau 1 : Description et constat d'état du pyxide (Rep.5)



Fiche technique		
N° d'inventaire : 240. T.31 Rep. 5 (fig.13)		
Forme : parois concaves et bords évasés ⁷⁰ .		
Dimensions : <u>Hauteur</u> : 5.8 cm ; <u>Diamètre extérieur</u> : 5.0 cm (minimal) ; 8.1 cm (maximal) ; <u>Diamètre intérieur</u> : env. 4.4 cm ; <u>Épaisseur</u> : 0.4 cm.		
Couleur de la pâte ⁷¹ : Orange et brun (fig.14)		
Fonction d'origine : probablement "lié aux pratiques culturelles et funéraires" ⁷² .		
Fabrication : probablement tournage avec une argile épurée (dégraissants fins). Cuisson réductrice, puis oxydante (fig.4, p.12). <u>Décor</u> : engobe fin à la surface possible.		
Description de la pâte (observation sous loupe binoculaire uniquement)		
Fracture des tranches : Grenue, assez nette	Dureté : 3-4 Mohs ⁷³	
Inclusions <ul style="list-style-type: none"> - Blanc, translucide, sub-anguleux (250-500 µm) → probablement du quartz - Blanc à nuance jaune, opaque, sub-arrondi (150-250 µm) → probablement des feldspaths - Noir, opaque, arrondi à sub-arrondi (moy. 400 µm) → probablement des agglomérats d'argile 		

Fig. 13 : Pyxide avant traitement

Fig. 14 : Tranche d'un tessou de la pyxide

⁷⁰ PERNET *ET AL.*, 2006, p.212.

⁷¹ Vue d'après les tranches des tessous.

⁷² PERNET *ET AL.*, 2006, p.212.

⁷³ La dureté est évaluée en rayant la surface avec l'ongle ou une aiguille. La dureté d'un matériau rayé par l'ongle peut être estimée entre 3 (calcite) et 4 (fluorite) sur l'échelle de Mohs ; rayé par une aiguille en acier, entre 6 (feldspath) et 7 (quartz). BUYS AND OAKLEY, 1996, p. 42.

Porosité : Cavités régulières, très poreuse (goutte d'eau directement absorbée) ⁷⁴
Constat d'état
Etat structurel : Complet, partiellement fragmentaire (gobelet et trois tessons)
Etat de conservation des surfaces
Dépôt terreux recouvrant toute la surface exceptées les tranches, écaillage de la terre et de la surface de la céramique (attachée à la terre), pulvérisation de la surface et faible cohésion du corps céramique (au niveau des tranches), faible érosion des tranches.

4.1.2. Pot modelé à la main (Rep.11)

Tableau 2 : Description et constat d'état du petit pot modelé à la main (Rep.11)


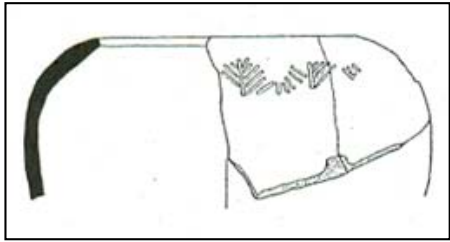
Fiche technique	
N° d'inventaire : 240. T.31 Rep. 11 (fig.15)	
Forme initiale : ovale avec un fond plat et des lèvres rentrantes ⁷⁵ (fig.16)	
Dimensions : épaisseur : 0.7 à 0.9 cm ⁷⁶	
Couleur de la pâte : Orange et gris-vert (fig.17)	
Fonction d'origine : Il pouvait être utilisé pour divers usages, mais surtout en cuisine ⁷⁷ .	
<p>Fabrication : Modelé à la main, avec une argile chargée de gros dégraissants. Surface externe incisée avec un outil pointu et de manière plus ou moins régulière. Cuisson réductrice puis majoritairement oxydante (fig.4, p.12). <u>Décor</u> : stries incisées verticalement sur la surface externe, espacées d'environ 2 mm, délimitées sur le haut du pot par une ou plusieurs stries formant des vagues.</p>	
	

Fig. 15 : Pot avant traitement

Fig. 16 : Schéma d'un pot à lèvres rentrantes

⁷⁴ BERDUCOU, 1991, p.96 ; CRONYN, 1990, p.144.

⁷⁵ On retrouve, en Alsace, le même type de céramiques datées du début de La Tène. Parmi les céramiques grossières non tournées, les ¾ ont un profil rentrant. Notons la similitude entre ces céramiques (Tremona et Alsace), malgré la différence géographique et culturelle. ADAM ET KOENIG, 2005, p.283-284.

⁷⁶ La céramique étant très fragmentaire, nous pouvons actuellement ne donner que son épaisseur. Idem pour les Rep.12 et 14.

⁷⁷ BERGER *ET AL.*, 1999, p.66-67 ET 70.


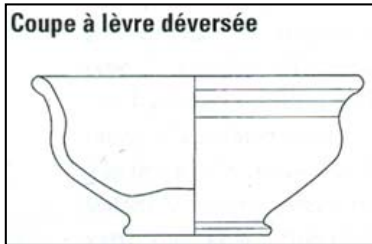

Description de la pâte	
Fracture des tranches : Massive	Dureté : 3-4 Mohs
<p>Inclusions/minéraux</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quartz (moy. 263 μm) : blanc, translucide, sub-anguleux - Feldspath (silicates d'alumine K) (moy. 205 μm) : blanc à nuance jaune, opaque, sub-arrondi - Muscovite (mica) (moy. 113 μm) - Roche métamorphique (biotite et quartz) (moy. 736 μm). La présence assez importante de fragments de roches métamorphiques peut nous indiquer que l'argile n'a pas été décantée ou que l'on a ajouté des dégraissants qui n'ont pas été sélectionnés spécifiquement. - Plagioclases (silicate de Ca ou Na : anorthite ou albite) en faible quantité (moy. 135 μm) Blanc à nuance jaune, opaque, sub-arrondi (100-1500, moy. 800 μm) - Biotite (mica) lié au quartz dans les roches métamorphiques. - Présence d'agglomérats d'argile : noir, opaque, arrondi à sub-arrondi (moy. 300 μm) ou rouge, opaque, sub-arrondi à sub-anguleux (moy. 600 μm) 	
<p>Porosité : Env. 25%. Fissures de retrait à proximité des minéraux, unies les unes aux autres (pas de présence de pores arrondis) ; 150- 1000 μm. Des minéraux grossiers ont été utilisés comme dégraissants, cependant l'argile a subi tout de même d'importants retraits, probablement pendant la phase de séchage, rendant la céramique très poreuse.</p>	
<p>Orientation et répartition des particules : Pas d'orientation particulière ni de répartition selon la taille des particules. L'absence d'orientation et de répartition des minéraux indique que l'objet n'a effectivement pas été formé au tour.</p>	
Constat d'état	
<p>Etat structurel : En fragments : env. 38 tessons</p>	
<p>Etat de conservation des surfaces</p> <p>Dépôt (terre argileuse) recouvrant toute la surface et en partie les tranches, écaillage de la surface, faible cohésion de la pâte (désagrégation dans l'eau), érosion des tranches.</p>	



Fig. 17 : Tranche d'un tesson du pot

4.1.3. Coupelle (coupe) en céramique commune à pâte claire (Rep.12)

Tableau 3 : Description et constat d'état de la coupelle en céramique commune (Rep.12)

Fiche technique	
<p>N° d'inventaire : 240. T.31 Rep. 12 (fig.18)</p> <p>Forme initiale : "corps hémisphérique, lèvre déversée et pied annulaire (...) carène très peu marquée"⁷⁸ (fig.19)</p> <p>Dimensions : épaisseur : 0.4 -0.5 cm.</p> <p>Couleur de la pâte : Orange clair (fig.20)</p> <p>Fonction d'origine : récipient culinaire pour aliments solides, très présent au Tessin dès La Tène finale produite localement, rarement importée⁷⁹.</p> <p>Fabrication : tournage, avec une argile assez fine et épurée. Cuisson entièrement oxydante (fig.4, p.12). Imitation des coupes à vernis noir.⁸⁰ <u>Décor</u> : revêtement argileux en surface possible⁸¹.</p>	 <p style="text-align: center;">Fig. 18 : Coupelle avant traitement</p> <div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">Coupe à lèvre déversée</p> </div> <p style="text-align: center;">Fig. 19 : Schéma d'une céramique similaire</p>
Description de la pâte	
<p>Fracture des tranches : Grenue</p>	<p>Dureté : 3-4 Mohs</p>
<p>Inclusions</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quartz (moy. 131 µm) : blanc, translucide, sub-anguleux - Muscovite (mica) (moy. 125 µm) - Biotite (mica) (moy. 70 µm) - Feldspath (silicates d'alumine K) (moy. 193 µm) : blanc à nuance jaune, opaque, sub-arrondi (moy. 300 µm) 	 <p style="text-align: center;">Fig. 20 : Tranche d'un tesson de la coupe</p>

⁷⁸ Il est difficile d'avoir une description précise actuellement, mais la coupe pourrait s'apparenter aux descriptions de PERNET *ET AL.*, 2006, p.211.

⁷⁹ Communication orale de Luisa Mosetti, archéologue à l'UBC ; BERGER *ET AL.*, 1999, p.54-55.

⁸⁰ PERNET *ET AL.*, 2006, p.210.

⁸¹ BERGER *ET AL.*, 1999, p.54-55.

- Roche métamorphique (conglomérats de quartz) (moy. 346 μm)
- Plagioclases (Silicate de Ca ou Na, anorthite ou albite) en faible quantité (moy. 100 μm)
- Agglomérats d'argile : noir, opaque, arrondi à sub-arrondi (moy. 300 μm) ou rouge, opaque, sub-arrondi à sub-anguleux (moy. 300 μm)

La taille des minéraux est plus petite et de manière générale plus homogène que dans le pot fait main. On retrouve en grande partie du quartz et de la muscovite, avec quelques minéraux de feldspaths et biotite ainsi que quelques rares plagioclases. La présence de ces minéraux laisse penser qu'il a eu une sélection du dégraissant dans le type de minéraux (quartz et mica) et dans leur taille.

Porosité : Env. 8%. Formes irrégulières ; 100-1000 μm .

Orientation et répartition des particules : Orientation subparallèle à la surface. Répartition d'une majorité de petites particules minérales à la surface. L'orientation et la répartition des particules laissent penser que la coupe a été tournée (le tournage lisse les particules fines et les maintient en surface).

Constat d'état


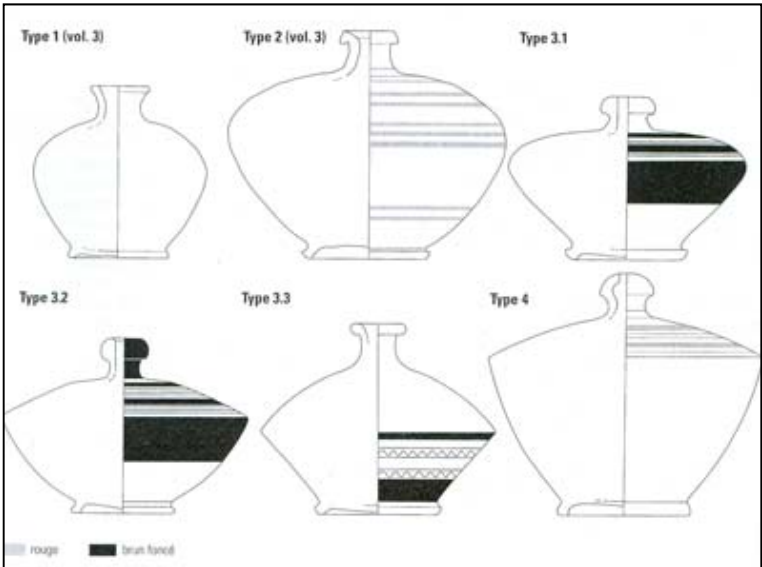
Etat structurel : En fragments : env. 20 tessons

Etat de conservation des surfaces

Dépôt terreux recouvrant toute la surface et en partie les tranches, écaillage de la terre et de la surface de la céramique (attachée à la terre), pulvérisation de la surface et faible cohésion du corps céramique (au niveau des tranches), érosion des tranches et de la surface. Sur les lames fines, on peut observer que la terre ne semble pas si accrochée à la céramique, contrairement aux tranches (APPENDICE I.2.1.3 : fig.13-14).

4.1.4. Vase *a trottola* (Rep.14)

Tableau 4 : Constat d'état du vase *a trottola* (Rep.14)

Fiche technique	
<p>N° d'inventaire : 240. T.31 Rep. 14 (fig.21)</p>	 <p>Fig. 21 : Vase <i>a trottola</i> avant traitement</p>  <p>Fig. 22 : Types de vases <i>a trottola</i></p>
<p>Forme initiale : Vase à panse large et avec le col resserré, dont "le diamètre maximal est supérieur à la hauteur" et à la forme d'une toupie⁸². Il s'agirait vraisemblablement du type 3.1 ou 3.2 (fig.22). La forme est "lenticulaire", avec une "épaule arrondie" (3.1.) ou avec une "arête bien marquée au niveau de l'épaule" (3.2). "Le col est court et cylindrique avec un bord à lèvre massive arrondie" (3.1) ou "arrondie vers l'intérieur" (3.2).⁸³</p>	
<p>Dimensions : épaisseur : 0.4 à 0.6 cm.</p>	
<p>Couleur de la pâte : Orange et brun (fig.23)</p>	
<p>Fonction d'origine : "contenir et verser des liquides, en toute vraisemblance du vin"⁸⁴.</p>	
<p>Fabrication : typique de La Tène finale. Tournage (présence de traces) avec une argile fine et assez épurée. Cuisson réductrice puis oxydante (fig.4, p.12). <u>Décor :</u> Présence de lignes concentriques colorées (rouge, nuances de brun) possible.⁸⁵</p>	

⁸² La traduction française de *trottola* est toupie. PERNET ET AL., 2006, p.223.

⁸³ PERNET ET AL., 2006, p.224-225.

⁸⁴ PERNET ET AL., 2006, p.223-224.

⁸⁵ PERNET ET AL., 2006, p.224.

Description de la pâte	
Fracture des tranches : Grenue, assez nette	Dureté : 3-4 Mohs
<p>Inclusions</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quartz (moy. 134 μm) : blanc, translucide, sub-anguleux (100-500, moy. 200 μm) - Muscovite (mica) (moy. 101 μm) - Biotite (mica) (moy. 80 μm) - Plagioclases (anorthite ou albite) en faible quantité (moy. 80 μm) - Agglomérats d'argile : Rouge, opaque, sub-arrondi à sub-anguleux (moy. 100 μm) <p>(Absence de feldspaths et de roches métamorphiques)</p>	
<p>Porosité : Env. 5%. Pores arrondis et sub-arrondis ; 100- 400 μm.</p>	
<p>Orientation et répartition des particules : Orientation subparallèle à la surface. Répartition égale des minéraux.</p>	
Constat d'état	
<p>Etat structurel : En fragments : env. 38 tessons</p>	
<p>Etat de conservation des surfaces</p> <p>Dépôt terreux assez fin réparti de manière hétérogène sur toutes les surfaces externes, très peu de terre sur les tranches, dépôt rouge orangé sur toutes les surfaces internes, faible érosion des tranches, légère pulvérulence.</p>	



Fig. 23 : Tranche d'un tesson du vase *a trottola*

4.2. Résultats des analyses

Nous avons effectué des analyses microscopiques, des analyses par diffraction des rayons X (DRX) et par spectrométrie infrarouge (FTIR) sur les trois céramiques fragmentaires, la terre d'enfouissement, ainsi que les éprouvettes de terre cuite (APPENDICE I.2.). Nous n'avons réalisé aucune analyse sur la pyxide pour le garder complet, étant donné que les analyses sont destructrices.

Les analyses XRD, FTIR et microscopiques nous indiquent :

- Une forte présence de quartz et de muscovite (mica) dans les céramiques ainsi que sur les éprouvettes de terre cuite ;
- La terre d'enfouissement contient des carbonates, des groupes OH⁻ (argiles) et de l'H₂O, qui n'ont pas été détectés sur les céramiques ;
- Les feldspaths sont fortement présents dans les trois céramiques sur les analyses XRD, alors que sur les lames minces de la coupe (rep.12) et du vase (rep.14), nous n'en avons détecté que très peu, voire pas du tout. Mais il est possible que les feldspaths soient trop fins pour être visibles ou qu'ils ne se trouvent pas sur la section observée, qui n'est pas représentative de toute la céramique.

Nous avons observé que très peu de minéraux indicateurs de température de cuisson. Mais nous avons tout de même pu détecter quelques indices permettant d'estimer la température de cuisson :

- Les carbonates se décomposent à une température entre 800 et 900°C⁸⁶ ; nous avons détecté des carbonates dans la terre d'enfouissement, mais pas dans les céramiques ni dans les éprouvettes.
- Sur l'éprouvette cuite à 900°C, nous avons détecté une petite quantité de gehlénite, minéral de haute température, apparaissant généralement vers 850°C.⁸⁷ Mais nous ne pouvons nous permettre de comparer, les yeux fermés, ces éprouvettes avec les céramiques, étant donné que leur provenance et donc leur composition n'est probablement pas la même. Cependant, nous constatons l'absence de gehlénite sur les céramiques, ce qui pourrait signifier qu'elles ont pu être cuites à une température inférieure à 900°C.
- L'hématite est présente sur les deux céramiques fines (rep.12 et 14). Elle apparaît à la cuisson, à une température d'env. 750°C.⁸⁸ Il se peut donc que la céramique grossière (rep.11) ait été cuite en-deçà de 750°C.
- La porosité des céramiques peut aussi être un indicateur de température de cuisson. La porosité de la céramique tend à augmenter pendant la cuisson jusqu'à atteindre le palier de 900°C. Au-delà de cette température, la céramique se vitrifie et la porosité diminue.⁸⁹ Les pores présents dans la matrice des céramiques sont supérieurs à 100 µm ; cela signifierait que les céramiques ont atteint une température de cuisson entre 800 et 850°C.⁹⁰ Mais il faut relativiser l'information donnée par la porosité des céramiques car elle peut également dépendre de la nature de l'argile.

⁸⁶ JORNET, 2007, p.22.

⁸⁷ KÜPFER UND MAGETTI, 1978, p.208-209 ; JORNET, 2007, p.23.

⁸⁸ JORNET, 1982, p.49.

⁸⁹ MAGETTI UND KAHR, 1981, p.15.

⁹⁰ MEYER *ET AL.*, 1984, p.122.

5. SYNTHÈSE / DIAGNOSTIC

Les céramiques provenant du site de Tremona ont toutes une pâte assez fragile, qui peut être plus ou moins pulvérulente (rep.5 et 12), ou qui se désagrège au contact prolongé avec de l'eau (rep.11). Ces problèmes de cohésion semblent avoir pour principale cause un défaut de fabrication. En effet, d'après les analyses effectuées (point 4.2.), les céramiques n'ont probablement pas été cuites au-delà de 900°C. La vitrification de la pâte céramique commence à cette température et rend les céramiques dures et résistantes. Nous supposons que les céramiques ont été cuites à une température entre 800 et 900°C, peut-être moins en ce qui concerne le pot en céramique grossière (rep.11), ce qui expliquerait leur problème de faible cohésion.

La faible cohésion des céramiques (excepté le vase (rep.14)) implique une altération plus rapide. En effet, une pâte tendre est plus sujette à l'érosion, durant l'usage ou l'enfouissement, et peut présenter une surface plus irrégulière et plus poreuse qu'auparavant⁹¹. Avec une surface irrégulière, il est plus facile à de petites particules, comme l'argile, de s'infiltrer plus ou moins profondément dans la pâte. En effet, il est probable que les particules d'argile aient pu s'infiltrer assez profondément pour que la surface de la céramique devienne plus cohésive avec la terre d'enfouissement qu'avec la pâte elle-même. Ce phénomène implique donc que la surface de la céramique s'écaille avec la terre lorsque celle-ci sèche.

La terre, avec un pH basique, a permis aux céramiques de ne pas être plus fragiles encore. Si elle avait été acide, les inclusions calcaires auraient été partiellement, voire totalement dissoutes rendant la céramique encore plus poreuse et tendre.

Trois des céramiques sont fragmentaires, la quatrième, la pyxide (rep.5), n'est que légèrement cassée. Le bris de la pyxide et du vase *a trottola* a pu se produire pendant l'enfouissement ou lors des fouilles, car il y a très peu, voire pas du tout de terre au niveau des tranches. Par contre, nous avons pu observer la présence de terre sur les tranches du pot modelé à la main (rep.11) et sur la coupe (rep.12), ce qui pourrait signifier que les céramiques étaient déjà cassées lors de l'enfouissement.

Dans le cas du vase *a trottola*, la présence de dépôt rouge sur la surface interne des tessons peut être due au fait qu'il contenait du liquide (fonction première) avant ou lors des rites funéraires. Nous n'avons pas trouvé de traces organiques mais il est possible que le contenu liquide se soit minéralisé avec le temps (phytolithes)⁹².

⁹¹ BERDUCOU, 1991, p.90.

⁹² BOCCIA PETRAKIS, 1996, p.144.

6. PROPOSITIONS D'INTERVENTION : PARTIE THEORIQUE

La partie théorique introduit et présente les produits qui seront utilisés lors des différents tests, décrits dans la partie expérimentale (chap. 7), et que nous allons effectuer pour trouver la méthode la plus adéquate pour le nettoyage des céramiques. Nous présenterons les propriétés des produits testés et leur utilité dans la conservation-restauration, ainsi que leurs avantages et inconvénients. Nous retrouvons, dans ces deux chapitres (6. et 7.), les étapes de traitement des céramiques, à savoir : la pré-consolidation, le nettoyage, la consolidation permanente et le remontage.

6.1. Pré-consolidation

6.1.1. Objectif

Nous savons que les céramiques sont très fragiles et que leur faible cohésion rend le nettoyage plus difficile ; une consolidation préliminaire des céramiques serait donc appropriée⁹³. Le but de cette intervention est de protéger la céramique pendant le traitement de nettoyage. Le consolidant devra être assez fluide pour pouvoir consolider la céramique et non le dépôt terreux. Il devra être résistant aux produits chimiques qui seront utilisés pour ramollir le dépôt terreux. Une consolidation n'est jamais complètement réversible, c'est pourquoi sa stabilité à long terme est un facteur important.

6.1.2. Méthodes d'application

Pour des céramiques fragiles et pulvérulentes, il est préférable d'utiliser des méthodes d'application douces : avec un pinceau (avec des solvants à évaporation rapide, comme l'acétone ou l'éthanol) ou avec un spray qui pulvérise le produit (avec des solvants à évaporation lente, comme le toluène, l'acétate d'éthyle). Les bains sont donc à éviter d'autant plus que pour la consolidation temporaire, l'objectif n'est pas d'imprégner le matériau à cœur mais en surface⁹⁴.

Les objets doivent généralement être consolidés secs, à moins que le séchage ne les altère davantage. Dans ce cas, l'utilisation de consolidants à base d'eau (dispersion acrylique, émulsion vinylique, alcool polyvinylique, éthers de cellulose) permet de consolider le matériau humide⁹⁵. Nous testerons le Paraloïd B72 (résine acrylique) qui est actuellement le consolidant le plus stable et le plus utilisé en conservation-restauration. Le cyclododécane, consolidant temporaire, sera également testé.

⁹³ CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.35.

⁹⁴ CAVARI, 2007, p.71 ; BRINCH MADSEN, 1994, p.48.

⁹⁵ CAVARI, 2007, p.71; BRINCH MADSEN, 1994, p.48.

6.1.3. Consolidation temporaire : le cyclododécane

Le cyclododécane (CDD) est un produit qui a la propriété de se sublimer à température ambiante. Il peut s'appliquer fondu (à chaud) ou solubilisé (à froid), avec une pipette, un pinceau ou vaporisé. Fondu, le CDD forme une couche assez épaisse et dense (surtout utilisé pour consolider les objets pour un prélèvement sur un chantier), alors que solubilisé, la couche est moins dense⁹⁶. D'après les tests effectués par Tissier, le CDD appliqué en solution saturée pénètre de quelques millimètres dans le matériau, alors que fondu ou vaporisé, il n'est appliqué qu'en surface⁹⁷. La sublimation du CDD est plus rapide lorsqu'il est appliqué en solution que fondu⁹⁸. (Propriétés en APPENDICE II.1.)

Le CDD se dissout principalement dans les solvants apolaires, comme les hydrocarbures aliphatiques et aromatiques. Pour obtenir une solution saturée, il faut 10g de CDD et 6.5g d'éther de pétrole 30-40 ou 8g de White Spirit 100-140⁹⁹.

Il permet de consolider des surfaces fragiles ou pulvérulentes lors d'une manipulation ou d'un nettoyage. Pour nettoyer les surfaces, le CDD est appliqué en solution saturée pour consolider le substrat sur 2-3 mm de profondeur. La solution est appliquée au pinceau, ou à la pipette si la surface est trop pulvérulente, pour former un film de CDD homogène. Après évaporation du solvant, le surplus de CDD peut être retiré avec un solvant mi-polaire, comme un ester (par ex. acétate d'éthyle). Pendant la sublimation, il est alors possible de retirer le dépôt de terre avec de l'eau¹⁰⁰.

Après sublimation, le CDD peut laisser des résidus dans les pores de la céramique en faible quantité (env. 0.016% du poids initial)¹⁰¹.

6.1.4. Solution acrylique

Parmi les solutions acryliques, la résine la plus connue et la plus utilisée dans le domaine de la restauration est le Paraloid®. Le Paraloid® B72 est un copolymère d'acrylate de méthyle et de méthylacrylate d'éthyle utilisé en solution dans des solvants organiques. Sa viscosité dépend de la taille des macromolécules, de sa concentration, et du solvant¹⁰². Il a la propriété d'être stable et de bien vieillir : il reste soluble dans les solvants organiques, c'est pourquoi il est souvent utilisé comme vernis ou comme consolidant¹⁰³.

⁹⁶ TISSIER, 2007, p.18 ET 23.

⁹⁷ Le CDD pénètre encore plus profondément si le substrat est préalablement chauffé, mais nous ne risquons pas de chauffer et dessécher les céramiques déjà fragiles. TISSIER, 2007, p.51 ET 55.

⁹⁸ HIBY, 1997, p.100 ; RIEDL UND HILBERT, 1998, p.498.

⁹⁹ HIBY, 1997, p.99 ; TISSIER, 2007, p.23.

¹⁰⁰ HIBY, 1997, p.97 ; RIEDL UND HILBERT, 1998, p.497.

¹⁰¹ BRUHIN, 2008, p.100-101.

¹⁰² BERDUCOU, 1990, p.105.

¹⁰³ HORIE, 2000, p.106 ET 109.

Pour la consolidation, les auteurs préconisent une solution de Paraloid® B72 entre 2.5 et 5% dans l'acétone, l'éthanol, l'acétate d'éthyle ou le toluène¹⁰⁴. Une solution de Paraloid® dans l'acétate d'éthyle ou dans un mélange acétone – éthanol (50 :50) permet d'obtenir une pénétration plus profonde qu'une solution uniquement à base d'acétone¹⁰⁵. Le toluène a un temps d'évaporation plus lent que les autres solvants et peut consolider le substrat plus à cœur¹⁰⁶. Dans notre cas, ce facteur est important car il est essentiel de consolider la céramique et non le dépôt terreux en surface. (Propriétés en APPENDICE II.2.)

6.1.5. Dispersion acrylique

Les dispersions acryliques sont faites de très petites particules de résine en suspension dans l'eau. La taille de ces particules permet une bonne pénétration du produit dans le matériau. Dans la littérature, ressortent trois dispersions acryliques : Plextol® B-500, Primal® AC-33 et Primal® WS-24. La Plextol® B500, copolymère d'acrylate, est semblable à la Primal® AC33, mais est moins visqueuse que cette dernière. La Plextol® B500 a un pH basique à 9.5 et la taille de ses particules est de 0.1 µm (Propriétés en APPENDICE II.3.). La Primal® WS-24 est très peu visqueuse et la taille de ses particules est très petite (0.03 µm) ce qui permet une bonne pénétration du consolidant dans le matériau (Propriétés en APPENDICE II.4.). Elle a un pH neutre. Elle a beaucoup été utilisée pour consolider les peintures murales¹⁰⁷.

Il est cependant nécessaire de diluer les consolidants à une proportion 1 :1 avec de l'eau déminéralisée, car ils sont trop visqueux pour être utilisés tels quels pour une consolidation¹⁰⁸. Comme pour les émulsions vinyliques (voir 6.1.6), les dispersions acryliques ont le défaut de sécher lentement, d'avoir une faible force de cohésion et, avec le temps, d'avoir la tendance à jaunir et devenir moins solubles¹⁰⁹.

6.1.6. Dispersion vinylique

L'acétate de polyvinyle (PVAC) en dispersion dans l'eau a une apparence laiteuse et forme un film transparent en séchant. Le PVAC est une émulsion dont les particules sont grandes ce qui limite le taux de pénétration dans un matériau. De pH souvent acide, pouvant aller de 4 à 6, il peut altérer davantage des céramiques déjà fragiles et peut, en vieillissant, dégager de l'acide acétique qui peut également dissoudre les fractions calcaires présentes dans la céramique. Le PVB, polyvinyle de butyrale (Mowital® B30 H), ne change que très légèrement la couleur de la céramique et ne rend pas la surface brillante. Cependant les dispersions vinyliques ont une forte tendance à jaunir avec le temps¹¹⁰.

¹⁰⁴ ACTON, 1996, p.40 ; SINGLEY, 1988, p.20 ; BERGERON, 1991, p.81.

¹⁰⁵ CAVARI, 2007, p.71.

¹⁰⁶ MEYER ET RELIER, 1988, p.35 ; ALVAREZ, 1987, p.96.

¹⁰⁷ BERDUCOU, 1990, p.105 ; BERGERON, 1991, p.80 ; HORIE, 2000, pp.110-111.

¹⁰⁸ BERDUCOU, 1990, p.105 ; BERGERON, 1991, p.80.

¹⁰⁹ BERGERON, 1991, p.80.

¹¹⁰ HORIE, 2000, pp.94-96 ; BERDUCOU, 1990, p.105 ; BERGERON, 1991, p.80 ; ALVAREZ, 1986, p.96.

6.1.7. Alcool polyvinylique

L'alcool polyvinylique est un copolymère d'alcool de vinyle et d'acétate de vinyle (Propriétés en APPENDICE II.5.). Il a la propriété d'être soluble dans l'eau et d'autres solvants organiques. Il peut avoir un pH entre 4.5 et 7 et diminue la tension de surface. Malheureusement, il n'est pas très stable sur le long terme (devient insoluble), peut réagir ou ne pas être compatible avec certains matériaux, comme des sels métalliques, et former ensuite des complexes insolubles. De plus, il est hygroscopique et peut gonfler au-delà de 75% d'humidité relative¹¹¹.

6.1.8. Ethers de cellulose

Les éthers de cellulose sont fabriqués à partir de cellulose. Ils sont souvent utilisés pour consolider les papiers et les polychromies, car ils ne modifient pas (ou peu) la couleur du substrat, sauf lorsqu'une faible concentration est utilisée. Les éthers de cellulose sont hygroscopiques et peuvent se ramollir à des taux d'humidité relative élevés¹¹². Ils sont généralement plus solubles dans les solutions basiques et dans l'eau que dans les acides¹¹³.

Du point de vue de leur conservation à long terme, ils sont assez stables à température ambiante et sont résistants à la lumière. Bien que stables à un pH entre 3 et 11, une solution acide ou basique peut provoquer un effet hydrolytique. Il est donc conseillé de maintenir un pH neutre (7) pendant et après le traitement avec les éthers de cellulose¹¹⁴. De manière générale, leur utilisation avec des acides est à éviter, car ils ont tendance à perdre leur force de cohésion. Leur solubilité dans des solutions salines diminue, alors qu'elle augmente dans les solvants organiques.¹¹⁵

Les éthers de cellulose, comme la Klucel® G, un hydroxypropyle de cellulose (HPC), peuvent être utilisés comme consolidant à 1%. Très stable à la lumière, la Klucel® l'est moins sous l'effet de la chaleur où elle peut changer de couleur. Elle est également sensible aux micro-organismes¹¹⁶ (Propriétés en APPENDICE II.6.).

Cependant, les hydroxypropylcellulose (HPC) ont une stabilité moyenne à mauvaise (Klucel® H) pour des applications à long terme. De plus, Kilchhofer et Scherrer ont noté que la HPC¹¹⁷ n'était pas très compatible avec l'argile, car de la condensation se formait ponctuellement et des taches pouvaient

¹¹¹ HORIE, 2000, pp.97-99 ; BERDUCOU, 1990, p.105 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.26.

¹¹² FELLER AND WITT, 1990, p.15 ET 27.

¹¹³ FELLER AND WITT, 1990, p.20.

¹¹⁴ FELLER AND WITT, 1990, p.23-24 ET 38.

¹¹⁵ FELLER AND WITT, 1990, p.25.

¹¹⁶ BERDUCOU, 1990, p.109 ; HORIE, 2000, p.128 ; GRISSOM, 1996, p.73 ; FELLER AND WITT, 1990, p.94 ; KILCHHOFER UND SCHERRER, 2008, p.346.

¹¹⁷ Dans leurs Tests, ils avaient utilisé de la Klucel H, KILCHHOFER UND SCHERRER, 2008.

apparaître en ces zones. De plus, le résultat optique, ainsi que la force de consolidation, étaient insuffisants¹¹⁸.

La Tylose® est un méthyl-hydroxyéthyl-cellulose (MHEC) souvent utilisé comme épaississant¹¹⁹. Il peut parfois faire office de consolidant, mais étant donné sa viscosité à un faible pourcentage, il serait nécessaire de l'appliquer plusieurs fois pour obtenir une force de consolidation suffisante. Le temps d'attente entre deux applications peut être de l'ordre de 2-3 heures. (Propriétés en APPENDICE II.7.)

6.2. Nettoyage

6.2.1. Méthodes mécaniques

Airbrush :

L'airbrush est souvent utilisé par les archéologues pour nettoyer les céramiques et ossements archéologiques recouverts de terre. Cet outil permet de coupler l'action chimique et l'action mécanique pour nettoyer les objets. Un faible apport d'eau permet de dissoudre la terre et l'air comprimé, avec une pression contrôlée, d'évacuer l'eau sale (fig.24).



Fig. 24 : Airbrush

Peeling :

Nous pouvons utiliser le peeling de deux manières : par abrasion ou par adhésion du dépôt au moyen d'un adhésif. La première consiste à utiliser une colle sous forme de gel très épais et de la frotter à la surface de la céramique. Dans ce genre de cas, nous pouvons utiliser la Klucel® G (hydroxy-propyl-cellulose), une colle soluble dans l'eau qui forme un gel épais à très faible concentration¹²⁰. De cette manière, les saletés ou la terre se collent petit à petit à l'adhésif, nettoyant ainsi la surface de l'objet. Il est ensuite nécessaire de rincer le substrat à l'eau déminéralisée pour retirer toute trace d'adhésif.

La seconde méthode consiste à appliquer une colle à la surface de la céramique qui, en séchant forme un film plastique. Le film s'attache alors à la terre et la retire de la céramique lorsqu'il en est détaché¹²¹.

Laser :

Une technique de nettoyage, utilisée déjà depuis un certain temps dans le domaine de l'architecture, commence également à s'appliquer dans le domaine de l'archéologie : le laser. Le nettoyage fonctionne en

¹¹⁸ FELLER AND WITT, 1990, p.6 ; KILCHHOFER UND SCHERRER, 2008, p.352-353.

¹¹⁹ HORIE, 2000, p.128.

¹²⁰ Information transmise oralement par Frédérique Tissier, conservatrice-restauratrice au Service archéologique de Berne (ADKBE). HORIE, 2000, p.126-127

¹²¹ STANCLIFF ET AL., 2005, p.91 ; SITE D'ARTEMUNDIT, 2010 (EN LIGNE).

appliquant des fréquences pulsées de rayons laser dont la puissance peut être réglée et contrôlée¹²². La plupart du temps, le dépôt et la surface se différencient par leurs propriétés d'absorption. Le dépôt étant généralement plus sombre, il absorbera les pulsations laser qui seront par contre stoppées par la surface claire de l'objet. Le laser éliminera alors le dépôt en laissant l'objet intact¹²³.

6.2.2. Méthodes chimiques

6.2.2.1. Solutions acides

Les acides inorganiques, comme l'acide chlorhydrique (HCl) sont souvent utilisés pour retirer les carbonates de calcium parfois présents sur les surfaces des céramiques, mais sont déconseillés sur les céramiques archéologiques, car l'acide peut également attaquer les inclusions calcaires présentes dans la pâte et risque de laisser des résidus d'ions chlorures (Cl^-)¹²⁴.

Les acides organiques faibles, moins agressifs, peuvent être utilisés à des concentrations pouvant aller de 10-20% selon les cas : acétique, formique, et parfois citrique¹²⁵. L'acide citrique est souvent utilisé pour retirer les taches dues à la dégradation d'éléments végétaux ainsi que pour dissoudre des oxydes de cuivre¹²⁶. Il agit comme un complexant avec les ions de cuivre (Cu^{2+}) ainsi que d'autres ions métalliques comme les ions Ca^{2+} ¹²⁷. L'acide acétique, aussi utilisé pour neutraliser des solutions basiques, et l'acide citrique sont utilisés dans la restauration de bâtiments pour dissoudre des carbonates¹²⁸.

Pour éviter que l'acide ne pénètre dans la céramique et n'attaque les inclusions calcaires, il serait préférable de saturer la céramique d'eau. Dans notre cas, cette opération ne sera pas possible étant donné qu'elles se désagrègent dans l'eau. Les acides faibles sont généralement utilisés à concentration allant de 2-7% et appliqués en gels entre 15 secondes et 7 minutes¹²⁹. Après l'application d'acides, la céramique doit être bien rincée, pour éviter une dégradation ultérieure. La neutralisation avec une base est déconseillée car elle implique la formation de sels¹³⁰. Un rinçage dans un bain d'eau est également déconseillé si les céramiques sont sensibles et se désagrègent dans l'eau.

¹²² CAVARI, 2007, p.70 ; SLATON AND NORMANDIN, 2005, p.20.

¹²³ WAGNER, 1998, p.382.

¹²⁴ CAVARI, 2007, p.71 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.28 ; ASHLEY-SMITH *ET AL.*, 1987, p.94.

¹²⁵ BERDUCOU, 1990, p.101 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.28 ; SLATON AND NORMANDIN, 2005, p.22 ; WOLBERS, 2000, p.21.

¹²⁶ BOCCIA PATERAKIS, 1996, p.143 ; ASHLEY-SMITH *ET AL.*, 1987, p.95.

¹²⁷ ASHLEY-SMITH *ET AL.*, 1987, p.95 ; WOLBERS, 2000, p.114.

¹²⁸ EKKEHARD, 1992, p.8 ; ASHLEY-SMITH *ET AL.*, 1987, p.94.

¹²⁹ FILDER, 1996, p.17 ; BOCCIA PATERAKIS, 1996, p.143.

¹³⁰ LAZZARINI ET LAURENZI TABASSO, 1989, p.127.

Nous avons choisi d'utiliser des acides faibles, comme l'acide acétique et l'acide citrique, ayant également un rôle de complexant, pour effectuer les tests de nettoyage. Même très dilué, nous avons jugé l'acide chlorhydrique trop agressif pour des céramiques déjà fragiles.

6.2.2.2. Solutions alcalines

Les solutions alcalines, ou basiques, sont la plupart du temps utilisées pour neutraliser les acides et permettent également d'augmenter l'efficacité de nettoyage. L'ammonium ainsi que des carbonates de sodium ou de potassium, des bases faibles, sont souvent employés dans le domaine de la conservation¹³¹.

Les carbonates d'ammonium et le bicarbonate de sodium sont employés pour nettoyer les surfaces de peintures murales¹³². Le bicarbonate de sodium est à éviter tant que possible pour empêcher la formation de sels sodiques dans le substrat¹³³.

L'hydrogénocarbonate d'ammonium (NH_4HCO_3), plus connu comme bicarbonate d'ammonium, agit sur le gypse et le calcaire ; son pH se situe entre 7.5 et 8.5¹³⁴. Pendant le traitement, le produit doit être recouvert, car, en réagissant avec le CO_2 , il peut former des carbonates d'ammonium à la surface du substrat. Le bicarbonate d'ammonium peut provoquer des réactions indésirables avec les substrats et les gels (comme le méthylcellulose, un éther de cellulose) contenant des chlorures¹³⁵.

6.2.2.3. Complexants

Les complexants sont des composants chimiques qui comprennent deux, voire plusieurs, groupes fonctionnels. Pouvant être organiques ou inorganiques, ce sont des "donneurs" d'électrons et permettent de former des complexes avec les ions métalliques environnants (fer, cuivre, calcium, magnésium, aluminium). Après la formation de ces complexes, les concrétions auparavant difficiles à retirer deviennent solubles. L'utilisation de complexants implique un rinçage¹³⁶.

L'EDTA :

L'EDTA (acide éthylènediamine tétra acétique), un complexant très utilisé en conservation-restauration, peut être disodique (attaque les ions de fer (III) et les concrétions difficiles à retirer) ou tétrasodique (attaque les carbonates de calcium mais pas les ions de fer)¹³⁷. Pour dissoudre les carbonates de calcium,

¹³¹ ASHLEY-SMITH *ET AL.*, 1987, p.96 ; MORRIS, 1994, p.168 ; KHANDEKAR, 2004, p.13.

¹³² RAINER, 2008, p.131 ; LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.119.

¹³³ LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.136.

¹³⁴ EKKEHARD, 1992, pp.9 ET 18.

¹³⁵ EKKEHARD, 1995, p.370.

¹³⁶ WOLBERS, 2000, p.109 ; BERDUCOU, 1990, p.101.

¹³⁷ CAVARI, 2007, p.71 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.34.

il est conseillé d'utiliser l'EDTA à une concentration de 3.72% (pds/vol) en solution saturée et à un pH basique, entre 8 et 11¹³⁸.

Le Calgon® :

L'hexaméthaphosphate de sodium, plus connu sous nom commercial de Calgon®, est également connu pour retirer les concrétions calcaires (carbonates et sulfates)¹³⁹. Cependant, nous avons remarqué que les composants du Calgon sont à 5-10% de polycarboxylates et à >30% de zéolithe, le reste des composants n'étant pas indiqué. La zéolithe serait cependant un adoucisseur d'eau composé de silicates d'aluminium et de sodium¹⁴⁰.

Le Calgon® est plutôt conseillé pour les céramiques cuites à basse température¹⁴¹. Boccia Paterakis affirme que le Calgon® n'agit pas avec les oxydes de fer alors qu'Acton soutient le contraire¹⁴². Nous testerons le produit sur la terre cuite pour avoir une idée personnelle de l'action du produit sur la céramique.

6.2.2.1. AB® 57

L'AB® 57 est un produit commercial utilisé comme agent nettoyant des sels insolubles que l'on retrouve principalement sur les peintures murales, mais également pour retirer les incrustations calcaires des objets archéologiques, telles que les céramiques. Il s'agit d'un mélange de produits chimiques souvent utilisés dans la restauration, avec des quantités prédéfinies¹⁴³ :

- 1l d'eau déminéralisée
- 30g de bicarbonate d'ammonium
- 50g de bicarbonate de sodium
- 25g d'EDTA
- 10g de Desogen® (tensioactif)
- 60g de Carboxyméthylcellulose

Il a l'avantage d'avoir un pH neutre (pH 7-7.5), ce qui évite d'attaquer certains composants sensibles aux acides ou aux bases. Les proportions peuvent être variables selon la nécessité. Les sels alcalins contenus

¹³⁸ STANCLIFF *ET AL.*, 2005, p.96 ; EKKEHARD, 1992, p.10 ; ARBEITSBLÄTTER, 1969, p.3-4.

¹³⁹ BERDUCOU, 1990, p.101.

¹⁴⁰ HODGES, 1987, p.147.

¹⁴¹ HODGES, 1987, p.147.

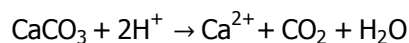
¹⁴² BOCCIA PATERAKIS, 1996, p.143 ; ACTON, 1996, p.25.

¹⁴³ LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.135 ; BOTTICELLI, 2007, p.90.

dans ce mélange peuvent former d'autres sels et être dommageables au substrat. Mais ce type de produit n'est pas adapté pour des surfaces très altérées ou poreuses¹⁴⁴.

6.2.2.2. *Echangeur d'ions*

Il s'agit d'un polyélectrolyte, composé d'une matrice, la résine, et de groupes actifs, qui échangent des ions chargés avec le milieu environnant. La résine échangeuse d'ions est un copolymère styrène-di-vinyl-benzène¹⁴⁵ (Propriétés en APPENDICE II.8.). Les échangeurs d'ions cationiques, de nature acide, contiennent des réserves d'anions qui vont échanger les cations qu'elles contiennent avec les cations environnants. Chargées d'ions d'hydrogène, les résines se différencient par la capacité de dissociation des protons¹⁴⁶. Les ions H⁺ sont échangés avec les ions Ca²⁺ présents dans les carbonates de calcium (CaCO₃) pour donner la réaction suivante :



Les ions contenus dans la résine sont échangés avec la même quantité d'ions environnants. Plus la concentration de résine, donc d'ions à échanger, est grande, plus la capacité d'échange sera grande.

Les avantages de l'échangeur d'ions sont les suivants :

- L'acidité du milieu d'échange ne peut augmenter car il existe toujours un équilibre dans la quantité d'ions H⁺ et Ca²⁺ échangés¹⁴⁷ ;
- Les réactions se faisant toujours à la surface de l'objet, il n'y a aucun risque que l'acidité de la résine ne pénètre dans l'objet ;
- Le produit n'altère pas la composition chimique de la céramique¹⁴⁸.

La surface de la céramique doit être rincée à l'eau déminéralisée après l'application de la résine. Parmi les échangeurs d'ions disponibles sur le marché, l'Amberlite® IR 120H a la plus grande capacité d'échange¹⁴⁹.

6.2.3. Méthodes d'application des produits chimiques

Pour l'application des produits chimiques, les bibliographies citent plusieurs possibilités : les solutions, les compresses et les cataplasmes (gel, épaississant)¹⁵⁰. Les cataplasmes et compresses offrent la possibilité

¹⁴⁴ LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.136 ; BOTTICELLI, 2007, p.90.

¹⁴⁵ CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.38 ; OETER, 1991, p.29-30 ;

¹⁴⁶ BÖHME UND WOLKER, 1994, p.81.

¹⁴⁷ Selon le pourcentage de produit ou le pH, l'échangeur d'ions sélectionnera davantage certains ions plutôt que d'autres. Mais dans l'ensemble, les ions les plus échangés seront Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ puis H⁺. OETER, 1991, pp.35-37.

¹⁴⁸ BÖHME UND WOLKER, 1994, p.81-82; OETER, 1991, p.45; CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.41.

¹⁴⁹ OETER, 1991, p.43-44 ; CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.38-41.

¹⁵⁰ SLATON AND NORMANDIN, 2005, p.21 ; BOTTICELLI, 2007, p.74.

de créer un microenvironnement et de ralentir l'évaporation du solvant et la propagation du produit dans le matériau, donc d'avoir une réaction prolongée, en surface, sur le dépôt¹⁵¹. L'immersion est fortement déconseillée pour le nettoyage de céramiques peu cohésives, c'est pourquoi on préférera les cataplasmes pour l'application des produits chimiques, avec une séparation de papier japon¹⁵². Le papier japon aura comme fonction d'éviter le contact direct entre le cataplasme et l'objet et donc de limiter les résidus éventuels, ainsi que de faciliter la manipulation et l'application des cataplasmes¹⁵³.

6.2.3.1. *Argile colloïdale (Sépiolite)*

La sépiolite, aussi appelée terre de Sommière, est un phyllosilicate hydraté de magnésium faisant partie des argiles à structure fibreuse¹⁵⁴. Elle est souvent utilisée pour faire un gel ou/et pour nettoyer des surfaces. Ses propriétés colloïdales permettent d'absorber certaines salissures lors de son séchage. Mais l'argile peut également être utilisée pour former une pâte avec un produit aqueux¹⁵⁵.

6.2.3.2. *Pulpe de cellulose (Arbocel®)*

La pulpe de cellulose a également la propriété d'absorber les produits lors de son séchage, mais son pouvoir d'absorption est moins fort que la sépiolite¹⁵⁶. La pulpe de cellulose peut également être remplacée par des flocons de cellulose, dont la pâte est un peu plus grossière et hétérogène¹⁵⁷. La compresse est appliquée sur une épaisseur d'env. 5 mm pour maintenir la surface humide. Pour obtenir une bonne compresse, il suffit de mélanger une part de pulpe de cellulose avec 6 à 8 parts de liquide (env. 10-15% pds/pds)¹⁵⁸. Complètement inerte, elle peut être utilisée avec tous les solvants courants en restauration et pour des temps de contact longs. Facile d'utilisation et peu chère, la pulpe de cellulose est souvent utilisée dans le milieu de la conservation¹⁵⁹.

6.2.3.3. *Acide polyacrylique (Carbopol®)*

Le Carbopol® (acide polyacrylique) est un polymère utilisé comme gélifiant dans l'application de produits chimiques pour nettoyer entre autres les tableaux. Stulik et Wolbers ont fait des recherches sur les résidus laissés par les gels à base de Carbopol® : ils ont pu mesurer que, sur une surface non poreuse nettoyée, il ne restait que 0.01% de Carbopol® ; sur un matériau poreux, la quantité de résidus peut-être entre 5 et

¹⁵¹ KHANDEKAR, 2004, p.14 ; BOTTICELLI, 2007, p.73.

¹⁵² CAVARI, 2007, p.70-71 ; BOTTICELLI, 2007, p.73 ; SLATON AND NORMANDIN, 2005, p.22-23 ; EKKEHARD, 1992, p.26.

¹⁵³ Les résidus sont plus importants sur les surfaces poreuses, comme les céramiques, que sur les surfaces lisses. STULIK AND WOLBERS, 2004, p.132 ; BOTTICELLI, 2007, p.73.

¹⁵⁴ LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.137 ; BOTTICELLI, 2007, p.162.

¹⁵⁵ CAVARI, 2007, p.71 ; ACTON, 1996, p.29 ; HALLER, 1994, p.17.

¹⁵⁶ CAVARI, 2007, p.71 ; ACTON, 1996, p.29.

¹⁵⁷ EKKEHARD, 1995, p.369.

¹⁵⁸ EKKEHARD, 1992, p.26.

¹⁵⁹ RAINER, 2008, p.131 ; CASALETTO, ET AL., 2008 ; BOTTICELLI, 2007, p.75 ; CAVARI, 2007, p.71 ; ACTON, 1996, p.29.

10 fois plus grande, mais cela reste assez minime (0.1%). De plus, ce gélifiant a la propriété d'être stable et de ne pas réagir avec les composants¹⁶⁰. Cependant, l'acide polyacrylique ne se gélifie pas dans les sels basiques et fait précipiter les sels ; un neutralisant (Ethomeen, Triethanolamine (TEA)) est alors nécessaire pour rendre le produit homogène¹⁶¹. Le Carbopol® est surtout utilisé comme gélifiant de produits chimiques en vue de nettoyer des surfaces généralement peu poreuses¹⁶². (Propriétés en APPENDICE II.9.)

6.2.3.4. Ether de cellulose (Tylose®)

Le Tylose® est un méthyl-hydroxyéthyle de cellulose (MHEC) qui appartient à la famille des éthers de cellulose. Il apparaît sous forme de poudre qui, lorsque ajoutée à l'eau, a tendance à former un bloc ; il est alors nécessaire de remuer le mélange de manière continue pendant environ 30 minutes. Une faible quantité est nécessaire pour obtenir un liquide visqueux. Il est souvent utilisé comme agent gélifiant pour les produits aqueux¹⁶³.

6.2.3.5. Silice amorphe (Aérosil®)

L'Aérosil® est composé de silice amorphe ou fumé de silice précipité par un processus d'hydrolyse à flamme. Sous forme de poudre, elle peut être mélangée à l'eau pour former une dispersion plus ou moins épaisse. Elle est surtout utilisée comme agent épaississant ainsi que pour effectuer des comblements légers¹⁶⁴. (Propriétés en APPENDICE II.10.)

6.3. Consolidation permanente et remontage

Etant donné la fragilité des céramiques, il sera difficile d'obtenir une imprégnation homogène et à cœur. L'imprégnation en bain étant déconseillée, il faudra utiliser un consolidant, à faible concentration, pénétrant profondément, avec un solvant à évaporation lente. Lors de l'évaporation du solvant, le consolidant est également ramené vers la surface, rendant ainsi la consolidation hétérogène et augmentant le risque de brillance à la surface¹⁶⁵. L'utilisation d'un solvant à évaporation rapide rendrait aussi la surface brillante.

Lorsqu'on consolide un matériau de manière permanente et temporaire, il est important de bien réfléchir au consolidant que l'on va choisir. En effet, même si on peut retirer un consolidant temporaire, il n'est

¹⁶⁰ STULIK AND WOLBERS, 2004, p.132-134.

¹⁶¹ HALLER, 1994, p.39 ET 43.

¹⁶² RAINER, 2008, p.131 ; WOLBERS, 2000.

¹⁶³ HORIE, 2000, p.126-128 ; EKKEHARD, 1992, p.25.

¹⁶⁴ PSA PROPERTY ENHANCER, 2008.

¹⁶⁵ BERDUCOU, 1990, p.107 ; BERGERON, 1991, p.82 ; MEYER ET RELIER, 1988, p.35.

jamais complètement retiré du substrat. C'est pourquoi il est important de choisir un adhésif stable dans le temps¹⁶⁶.

Les éthers de cellulose (cf. point 6.1.8), comme la Klucel G (hydroxypropyl cellulose), peuvent être utilisés comme consolidant, car ils ne modifient que légèrement les couleurs de la céramique (assombrissement modéré). Mais ils peuvent être sensibles aux microorganismes et gonfler lors d'une forte humidité relative¹⁶⁷.

Nous avons également décidé d'écarter les dispersions vinyliques pour les raisons citées dans le point 6.1.7., à savoir l'instabilité de ces adhésifs sur le long terme (jaunissement et dégagements acides)¹⁶⁸. Les époxydes sont également à éviter pour ce genre de traitement car elles sont insolubles et ont un pouvoir consolidant beaucoup trop fort, rendant la céramique trop dure et plus cassante.

6.3.1. Solution acrylique

Dans les solutions acryliques les plus utilisées en conservation-restauration, nous retrouvons le Paraloid® B72 qui compte parmi les adhésifs les plus stables à long terme comme nous l'avons déjà indiqué dans le point 6.1.4. Pour une consolidation permanente, l'essentiel est de pouvoir consolider l'objet le plus en profondeur possible. Pour ce faire nous pouvons utiliser un solvant à évaporation lente pour que le produit rentre plus lentement et en profondeur. Il est également conseillé de consolider l'objet avec une solution assez diluée (5%) pour éviter d'obstruer les pores et pouvoir mieux consolider. Bien sûr, dans ce cas, plusieurs applications seront nécessaires. Il est préférable de ne pas utiliser cette résine à plus de 10% dans un solvant, car cela pourrait donner un effet de brillance à cause du surplus de résine à la surface de l'objet. De plus, en faible concentrations, les résines acryliques ne changent que très peu les propriétés de l'objet (couleur, perméabilité)¹⁶⁹.

6.3.2. Trétraéthoxysilane ou silicate d'éthyle

Les tétraéthoxysilanes, ou silicates d'éthyle, sont souvent utilisés pour la consolidation des matériaux pierreux et les constructions en terre crue¹⁷⁰. "En présence d'eau, les silicates s'hydrolysent formant ainsi de la silice hydratée qui précipite en matériau amorphe et peut se lier, par des moyens électrostatiques, aux réseaux polaires des minéraux constituant le matériau pierreux, ou peut condenser avec des éventuels groupes hydroxyles de ces mêmes matériaux"¹⁷¹.

¹⁶⁶ BERDUCOU, 1990, p.107.

¹⁶⁷ BERDUCOU, 1990, p.109 ; HORIE, 2000, p.128.

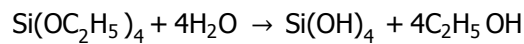
¹⁶⁸ OLIVER, 2008, p.112 ; RAINER, 2008, p.134.

¹⁶⁹ OLIVER, 2008, p.112 ; BERDUCOU, 1990, p.108 ; BERGERON, 1991, p.82-83.

¹⁷⁰ OLIVER, 2008, p.111 ; LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.195.

¹⁷¹ LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, p.191.

La réaction d'hydrolyse est la suivante :



La réaction peut être accélérée en présence de produits basiques, mais surtout acides. Par contre le processus est ralenti en présence d'une forte humidité relative. Il faut minimum 3 semaines pour que l'hydrolyse soit complète¹⁷²

Il a l'avantage de ne pas modifier l'aspect de surface, sans brillance ni obscurcissement de couleur. Par contre, il n'est pas compatible de la même manière avec tous les matériaux et est insoluble une fois hydrolysé, il peut être nocif et coûteux et de plus, son comportement au vieillissement est inconnu¹⁷³.

6.3.3. Evaluation et choix du consolidant et adhésif

Après avoir pris en considération les propriétés des différents consolidants cités ci-dessus, nous avons choisi la solution acrylique, le Paraloid® B72, pour consolider les tessons de céramiques. En effet, le Paraloid® B72 est plus facile d'utilisation et semble être plus stable que le silicate d'éthyle. De plus, une pré-consolidation est envisageable pour les céramiques les plus fragiles. Il nous faudrait dans ce cas utiliser la même résine pour la pré-consolidation préalable et pour la consolidation permanente. L'utilisation du silicate d'éthyle est alors impossible, car la consolidation préalable requiert un consolidant "réversible", ce qui n'est pas le cas du silicate.

En ce qui concerne l'adhésif pour le remontage, nous avons décidé de rester dans les mêmes matériaux, c'est-à-dire les résines acryliques. Le Paraloid® B72 permet une bonne adhésion et une prise assez rapide. L'utilisation de Paraloid® B72 en tube (env. 50% dans acétone) permettra une manipulation plus aisée avec une application de l'adhésif rapide et précise.

¹⁷² LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, pp.193-195.

¹⁷³ CAVARI, 2007, p.72; BERDUCOU, 1990, p.110.

7. PROPOSITIONS D'INTERVENTION : PARTIE EXPERIMENTALE

7.1. Tests de nettoyage mécanique avec l'airbrush

7.1.1. Introduction/mise en œuvre

Pour tester l'efficacité de cette méthode, nous avons effectué les premiers essais sur cinq tessons de céramiques épars, semblables aux céramiques étudiées (faible cohésion, terre argileuse à la surface, trouvés sur le même site), ainsi que sur des tessons des céramiques étudiées.

Nous avons utilisé l'airbrush avec un mélange d'eau-éthanol (env. 50 :50) en variant la pression et l'apport d'eau. Le mélange eau-alcool (50 : 50) est plus adéquat que l'eau seule pour le nettoyage de céramiques fragiles, cuites à basse température. La présence d'alcool permet de diminuer le temps d'évaporation de l'eau, qui peut désolidariser la pâte, et d'abaisser la tension superficielle de l'eau, donc de mieux retirer les résidus de terre¹⁷⁴

7.1.2. Résultats

Tableau 5 : Résultats des tests de nettoyage de tessons de céramiques avec l'airbrush

Tesson n°inventaire	Observations
240.06 Rep.10	La terre part difficilement. Elle se détache par écailles ou de manière plus homogène mais plus lente.
240.06 Rep.12 (grossière)	La terre part difficilement sur la surface, mais plus facilement au niveau des tranches.
240.06 Rep.12 (fine)	La terre part très difficilement. Elle se détache par écailles qui arrachent la surface de la céramique.
240.06 Rep.27	La terre part difficilement. Elle se détache par écailles sur la céramique plus fine, et de manière plus homogène mais plus lente sur la plus grossière.
240.07 Rep.34.4	La terre est très difficile à retirer au niveau des fissures mais également sur la surface.
240. T.31 Rep.11 (pot fait main)	La terre part plus ou moins bien mais avec trop d'insistance et trop de pression, la céramique s'émiette également. Au niveau des tranches, la terre part assez bien en couplant l'airbrush avec l'action mécanique d'un pinceau-brosse à poils doux.

¹⁷⁴ CAVARI, 2007, p.70 ; BERDUCOU, 1990, p.97.



240. T.31 Rep.12 (coupe)	La terre se détache en écailles, arrachant un peu de surface, mais est très difficile à retirer au niveau des tranches.
240. T.31 Rep.14 (vase)	La terre part assez bien au niveau de la surface, les tranches n'étant quasiment pas recouvertes de terre (fig.43, p.66).

7.1.3. Conclusion

De manière générale, l'argile est difficile à retirer à l'aide de l'airbrush. Le mélange d'eau-alcool, permet effectivement de moins mouiller les céramiques et de moins les fragiliser. Cependant, avec trop de pression et trop d'insistance, la céramique peut se désolidariser. Sur les céramiques fines, la terre part souvent en écailles emportant également une partie de la surface de la terre cuite et, avec trop d'insistance, la céramique peut s'éroder (fig.25-27). Sur les céramiques plus grossières (par ex. rep.11), l'airbrush permet de retirer la terre dans les anfractuosités des décors ou des tranches. Avec l'aide d'un pinceau-brosse à poils doux, il est possible de retirer une bonne partie de la terre. Il est cependant plus difficile d'obtenir un tel résultat avec des céramiques plus fines (rep.12).



Fig. 25 et Fig. 26 : Rep.27-061 fine avant (à gauche) et après nettoyage à l'airbrush

Fig. 27 : Erosion de la céramique

Utiliser uniquement l'airbrush pour nettoyer les céramiques n'est pas la meilleure solution. Il est peut-être conseillé de ramollir la terre par des moyens chimiques avant de les nettoyer à l'airbrush.

7.2. Tests de nettoyage mécanique par peeling (abrasion avec adhésif)

7.2.1. Introduction/mise en œuvre

Pour ce test nous avons opté, comme colle, pour la Klucel G, un éther de cellulose, car elle est soluble dans l'eau et une faible quantité est nécessaire pour obtenir un gel très épais. Nous avons utilisé une petite cuillerée de poudre de Klucel G à laquelle nous avons ajouté quelques gouttes d'eau ; en

mélangeant un peu, nous obtenons une pâte visqueuse et collante. Nous avons frotté ce mélange sur les tessons de céramique avec le doigt en formant des cercles.

7.2.2. Résultats

L'action mécanique opère très légèrement sur la terre, mais également sur la céramique. Il est donc difficile de retirer la terre sans frotter également la surface de la céramique. Il est ensuite nécessaire de retirer la colle, et la meilleure méthode est de la rincer sous l'eau courante à l'aide d'un pinceau, ce qui implique un fort apport d'eau et une abrasion supplémentaire de la céramique. De plus, la colle a tendance à se loger dans les creux et les pores de la céramique, rendant son retrait plus difficile (fig.28).

7.2.3. Conclusion

De toute évidence le peeling par abrasion n'est pas adapté pour des matériaux poreux et fragiles. Cette méthode est peu efficace pour retirer la terre et endommage davantage la céramique (fig.28). Elle pourrait s'appliquer plus efficacement sur des surfaces lisses et cohérentes.



Fig. 28 : De gauche à droite : tesson avant, pendant et après nettoyage par abrasion d'adhésif. Restes d'adhésif dans les parties creuses.

7.3. Tests de nettoyage mécanique par peeling (pelage de film adhésif)

7.3.1. Introduction/mise en œuvre

Avant d'appliquer la colle sur les céramiques, nous avons effectué quelques tests préalables, pour savoir quelle colle et quelle concentration est optimale pour obtenir un film que l'on peut peler. Nous avons décidé de tester un éther de cellulose, la Klucel G, à différentes concentrations (1%, 3%, 5% et 7%) ainsi que des dispersions acryliques, comme la Plextol B500 et la Primal AC33. Nous les avons appliqués sur une brique en terre cuite poreuse et laissé sécher les colles, pour définir quel film est le plus facile à peler.

7.3.2. Résultats

Tableau 6 : Résultats des tests de colles pour le peeling

Colle / concentration	Temps de séchage	Observations
Klucel G 1%	15 min	Colle trop liquide et s'étend. Film pas assez épais pour être pelé.
Klucel G 3%	1 h 30 min env.	Colle liquide et s'étend. Film pas assez épais pour être pelé.
Klucel G 5%	4h env.	Colle épaisse à l'application. Film un peu plus épais, mais pas assez pour être pelé.
Klucel G 7%	Plus de 5h	Colle très épaisse à l'application. Film trop dur et trop fin pour être pelé.
Plextol B 500 non dilué	3h 30 min env.	Forme un film épais et homogène à la surface et se retire aisément grâce à sa plasticité et son élasticité.
Primal AC33 (Dispersion K9) non dilué	3h 30 min env.	Forme un film épais et homogène à la surface et se retire assez aisément. Il est plastique mais peu élastique et se casse lorsqu'on le retire de la surface.

La Klucel G est trop pénétrante et trop lente pour sécher pour pouvoir former un film qui peut être pelé. La surface des céramiques est trop poreuse pour que l'éther de cellulose puisse former un film homogène en surface.

Les dispersions acryliques, plus concentrées, forment des films homogènes et plastiques à la surface des céramiques poreuses. La Plextol B500 donne les meilleurs résultats car elle est plastique et plus élastique que la Primal AC 33.

Nous avons appliqué la Plextol B500 au pinceau (env. 1 mm d'épaisseur) sur deux tessons de céramique provenant du même site archéologique que les céramiques étudiées. Le premier était une céramique plus ou moins grossière, avec une surface irrégulière (Tesson 1). Le second provenait d'une céramique fine qui a le même problème de faible cohésion (Tesson 2). La colle a mis env. 1h15 pour sécher, puis nous l'avons pelée.

7.3.3. Conclusion

Le peeling est assez efficace pour retirer la terre, mais également pour retirer la surface de la céramique. La pulvérulence et la faible cohésion des céramiques font que la surface des céramiques s'accroche à la colle ou à la terre. La terre "décollée" détache également la surface de la céramique (fig.29). Dans le cas de céramiques fragiles, il n'est pas conseillé d'utiliser le peeling comme méthode de nettoyage.

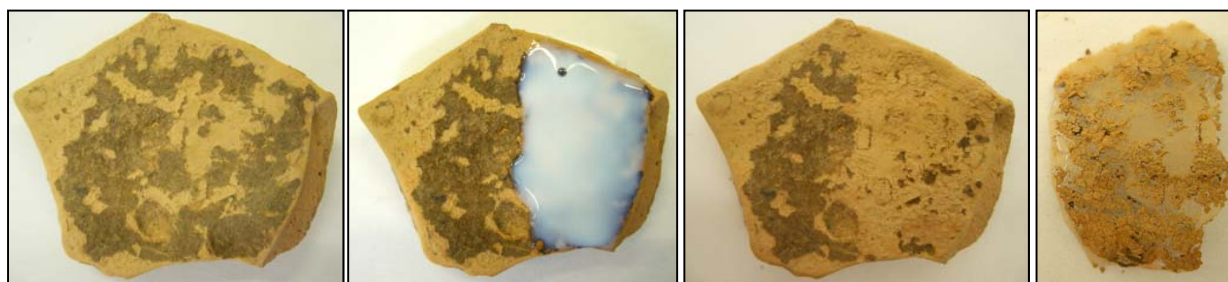


Fig. 29 : Phases de peeling par pelage de film adhésif sur le tesson 2. De gauche à droite : tesson avant traitement ; application de l'adhésif ; terre retirée avec le film d'adhésif ; la surface de la céramique est également arrachée par le film adhésif.

7.4. Tests de compatibilité des cataplasmes avec les produits chimiques

7.4.1. Introduction/mise en œuvre

Pour appliquer les produits en gels, nous avons effectué des tests de compatibilité entre les six produits épaississants souvent utilisés en conservation et les produits chimiques. Lors de la préparation nous avons calculé le pourcentage (pds/pds) de gélifiant nécessaire dans le produit en solution pour obtenir une pâte applicable à la spatule. Nous avons également mesuré le pH des produits, des cataplasmes avec l'eau déminéralisée, ainsi que des mélanges cataplasmes-produits. Les mélanges ont ensuite été appliqués sur une brique de terre cuite sèche et poreuse pour représenter les céramiques archéologiques (fig.30).

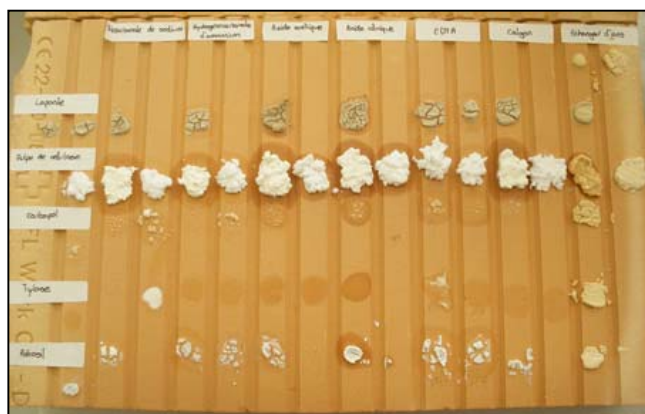


Fig. 30 : Produits mélangés avec les épaississants

7.4.2. Résultats

Nous présentons ici la synthèse des résultats qui se trouvent sous forme de tableau, dans l'APPENDICE III. Le temps de prise des gélifiants est généralement immédiat, à l'exception du Tylose®, où le temps de prise diffère selon les produits. Le Tylose® prend plus rapidement avec le Calgon® (3-4 min), l'eau déminéralisée (env. 10 min) et l'hydrogénocarbonate d'ammonium (moins de 30 minutes). Il faut un peu plus d'une heure aux autres produits pour se gélifier. Le bicarbonate de sodium et l'EDTA n'ont pas d'affinité avec l'épaississant : pour obtenir une sorte de gel, il est nécessaire de mettre une plus grande quantité, mais le gélifiant ne gonfle pas ; il forme une dispersion qui a peu de rétention.

Parmi les six épaississants testés avec tous les produits chimiques, trois n'ont pas réagi : l'Aérosil®, les flocons de coton et la pulpe de papier. L'argile a une réaction effervescente avec les produits acides (acide

acétique, acide citrique, EDTA) ; cette réaction a fait augmenter leur pH le menant à 7. Pour le cas des deux acides, ils perdent leur utilité initiale. Le Carbopol® forme une pâte hétérogène avec les sels alcalins et a tendance à changer de pH mélangé avec certains produits.

Les cataplasmes à base de silice amorphe (Aérosil®), de flocons de coton, de pulpe de papier et d'argile, sèchent très rapidement (< 5 min) à l'air ambiant. Très chargés, ils sèchent en 1 min. env., alors que plus liquides, ils perdent leur capacité de rétention. L'argile laisse l'eau s'évaporer assez facilement, et en séchant, absorbe "trop rapidement l'eau des surfaces traitées" et a donc tendance de ne pas laisser au produit le temps d'agir. En perdant l'eau, elle se fissure et se détache du substrat. A cause de la finesse de l'argile, il peut être difficile de la retirer complètement des céramiques, malgré le papier japon¹⁷⁵. Le Carbopol® et le Tylose® ont donc une meilleure rétention sur un matériau poreux que les quatre autres épaississants.

En séchant, le Tylose® a tendance à pénétrer dans le matériau poreux. Avec les produits dans lesquels il est en dispersion, un dépôt blanc de Tylose® reste à la surface après séchage.

7.4.3. Conclusion

D'après les résultats obtenus, nous pouvons noter que les gélifiants, comme le Tylose® et le Carbopol®, ont une bonne rétention, mais peuvent changer de pH ou pénétrer dans le matériau poreux. Nous préférons utiliser un matériau stable et inerte chimiquement et faciles d'utilisation : nous retrouvons l'Aérosil® les flocons de coton et la pulpe de cellulose. Parmi ces trois épaississants, nous avons mis de côté l'Aérosil®, car il peut être nocif lorsqu'on l'aspire et, composé de silicates, sa composition étant proche de celle des céramiques ; nous craignons une interaction avec celles-ci. Nous avons finalement opté pour la pulpe de cellulose, car elle est beaucoup plus fine que les flocons de coton, et est donc plus homogène et a plus de rétention, de plus elle est peu chère et facile à trouver. Les matériaux poreux, comme la pulpe de cellulose, utilisés comme épaississants semblent donner de meilleurs résultats que les gels (carboxyméthylcellulose et gel de silice) lorsqu'il s'agit de nettoyer des surfaces avec des produits comme le bicarbonate d'ammonium¹⁷⁶.

Notons pour conclure, que la rétention de la pulpe de cellulose semble être moins grande que celle des gélifiants, car les cataplasmes ont été appliqués sur une terre cuite très poreuse et non saturée en eau. La terre cuite a donc aspiré, par capillarité, les solutions et a asséché les cataplasmes prématurément. Lorsque nous appliquerons sur les éprouvettes, celles-ci seront préalablement humidifiées.

¹⁷⁵ LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, pp.120, 140.

¹⁷⁶ BOTTICELLI, 2007, p.74.

7.5. Tests de nettoyage chimique sur les éprouvettes

7.5.1. Introduction/mise en œuvre

Pour effectuer les tests de nettoyage, nous avons dans un premier temps évalué l'efficacité des produits sur de la terre argileuse, provenant de la tombe même, appliquée sur des éprouvettes de terre cuite. Ces éprouvettes (7.5 x 3.7 x 1.4 cm, après cuisson) ont été fabriquées avec la terre argileuse de la tombe puis cuites à 700°C dans les laboratoires de la SUPSI (APPENDICE I.1.4.). Il est à préciser que les éprouvettes ne peuvent être complètement comparables aux céramiques en plusieurs points :

- Leur provenance : la provenance de l'argile des céramiques n'est probablement pas la même que celle de la tombe, car les lieux de productions ne se trouvent généralement pas au même endroit que les lieux d'inhumation, sans compter que les céramiques ont pu être importées.
- Leur composition : l'argile peut différer selon le lieu de production et l'ajout de dégraissants dans la céramique (pour les éprouvettes, il s'agit uniquement de la terre de la tombe, aucun élément n'a été rajouté).
- Leur température de cuisson : les éprouvettes ont été cuites à une température de 700°C, en supposant que les céramiques ont subi une cuisson à faible température. Mais la température de cuisson des céramiques n'a pas pu être déterminée (cf. point 4.2).
- Leur état de conservation : les céramiques ont été enfouies pendant près de 2000 ans. Elles ont subi des altérations que l'on ne peut pas représenter sur les éprouvettes. De plus, les céramiques présentent une surface pulvérulente et très poreuse que nous ne trouvons pas sur les éprouvettes, malgré une certaine porosité et cohésion faible à moyenne.

L'objectif de ces tests est de pouvoir nous faire une idée de l'efficacité des produits sur la terre qui recouvre les objets et l'impact qu'elle pourrait avoir sur une terre cuite peu altérée. Si les produits de nettoyage réagissent sur les éprouvettes, il est à supposer qu'ils ne sont pas adaptés aux céramiques fortement dégradées.

Avant d'appliquer la terre sur les éprouvettes, nous les avons trempées dans de l'eau pendant environ 24 heures pour les humidifier à cœur (fig.31). Une fois égouttées, les éprouvettes ont été recouvertes, sur la moitié de leur surface, de terre provenant de la tombe (i.e. la même actuellement présente sur les céramiques et qui a servi à fabriquer les céramiques), alors que la seconde moitié a été laissée telle quelle (fig.32). Les produits de nettoyage ont été appliqués sur les deux parties des éprouvettes pour pouvoir observer s'ils ont un impact sur la terre et/ou la céramique. Nous avons appliqué une première couche de terre très diluée au pinceau pour permettre aux particules d'argile les plus fines de bien pénétrer dans les pores de la terre cuite, et la seconde avec une terre plus pâteuse à l'aide d'une spatule (1-2 mm d'épaisseur). Nous avons laissé pénétrer la première couche pendant 24h sous atmosphère humide avant

d'appliquer la seconde couche. Nous avons ensuite laissé sécher les éprouvettes pendant environ 1 mois avant de commencer les tests en atmosphère humide.

Les cataplasmes de produits ont été appliqués, avec du papier japon comme couche intermédiaire, sur les éprouvettes saturées en eau pour éviter que les produits pénètrent trop dans la terre cuite (fig.33). Nous avons ensuite recouvert les bâtons de terre cuite avec un film de polyéthylène pour maintenir une atmosphère humide et éviter au cataplasme de sécher trop rapidement.¹⁷⁷ Chaque produit a été appliqué avec trois temps d'application différents et trois concentrations différentes, à l'exception des complexants et de l'AB57.

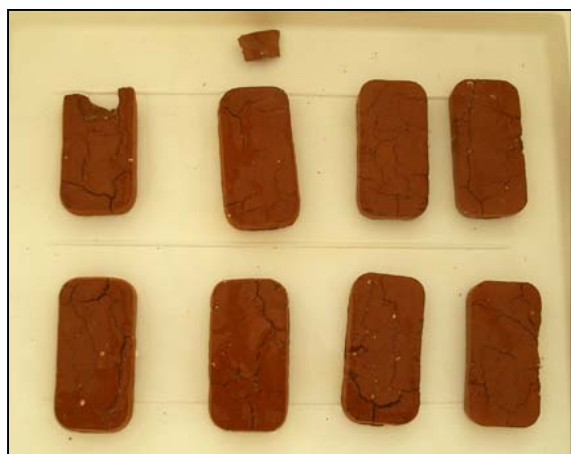


Fig. 31 : Humidification des éprouvettes en terre cuite



Fig. 32 : Application des la terre sur les éprouvettes

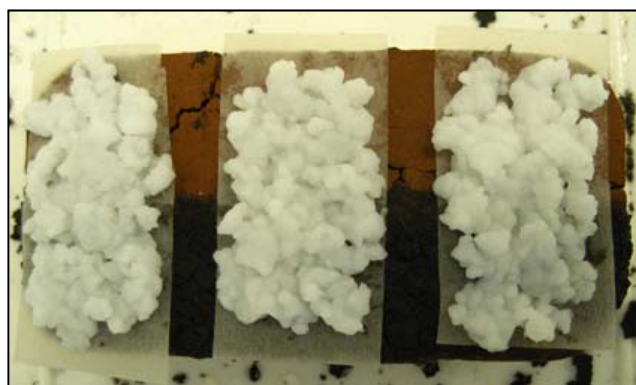


Fig. 33 : Application des produits avec de la pulpe de cellulose sur du papier japon

¹⁷⁷ OETER, 1991, p.43-44 ; CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.38-41.

7.5.2. Résultats

7.5.2.1. Solutions acides

Légende :

Terre : + Retrait facile et efficace (-) Retrait facile, mais présence de voile de terre
 (+) Retrait difficile, mais efficace - Retrait difficile et présence de voile de terre

Céramique : * surface érodée ** surface pulvérulente *** surface légèrement pulvérulente
 **** pas de changement de la surface (V) présence d'un voile blanc à la surface
 (E) Effervescence sur la céramique lors de l'application du produit

Tableau 7 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'acide acétique

ACIDE ACETIQUE		Concentration		
		5%	10%	15%
pH 3-4				
Temps d'application	30 sec	(-) *, (E)	(-) *, (E)	(-) *, (E)
	2 min	(-)	(-)	(-)
	7 min	(-) */**, (V) léger, (E)	(-) */**, (V) léger, (E)	(-) */**, (V) léger, (E)

Tableau 8 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'acide citrique

ACIDE CITRIQUE		Concentration		
		3%	7%	10%
pH 1-2				
Temps d'application	30 sec	(-) ** (***) sous la terre), (V) léger, (E)	(-) ** (***) sous la terre), (V) léger, (E)	(-) ** (***) sous la terre), (V) léger, (E)
	2 min	(-)	(-)	(-)
	7 min	(-) **, (V) léger, (E)	(-) **, (V) léger, (E)	(-) **, (V) léger, (E)

7.5.2.2. Solutions alcalines

Légende :

Terre : + Retrait facile et efficace (-) Retrait facile, mais présence de voile de terre
 (+) Retrait difficile, mais efficace - Retrait difficile et présence de voile de terre

Céramique : * surface érodée ** surface pulvérulente *** surface légèrement pulvérulente
 **** pas de changement de la surface (V) présence d'un voile blanc à la surface

Tableau 9 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec le bicarbonate de sodium

BICARBONATE DE SODIUM pH 9-10		Concentration		
		3%	7%	10%
Temps d'application	2 heures	(-) **** (** sous la terre)	(-) **** (** sous la terre)	(-) **** (** sous la terre)
	4 heures	(-) ****	(-) ****	(-) ****
	6 heures	+ (-) léger ****	+ (-) léger ****	+ (-) très léger ****

Tableau 10 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec le bicarbonate d'ammonium

BICARBONATE D'AMMONIUM pH 9-10		Concentration		
		3%	5%	7%
Temps d'application	2 heures	+ (+) **** (** sous la terre)	+ (-) **** (** sous la terre)	+ (-) **** (** sous la terre)
	4 heures ¹⁷⁸	(+) ****	(+) ****	+ ****
	6 heures	(+) + ****	(+) + ****	+ ****

¹⁷⁸ EKKEHARD, 1995, p.371.

7.5.2.3. Complexants

Légende :

Terre : + Retrait facile et efficace (-) Retrait facile, mais présence de voile de terre
 (+) Retrait difficile, mais efficace - Retrait difficile et présence de voile de terre

Céramique : * surface érodée ** surface pulvérulente *** surface légèrement pulvérulente
 **** pas de changement de la surface (V) présence d'un voile blanc à la surface

Tableau 11 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'EDTA

EDTA		Concentration
pH 10		3.72% ¹⁷⁹ (pds/vol)
Temps d'application	5 min	- **** (** sous la terre), léger (V) au séchage
	15 min	- **** (** sous la terre), léger (V) au séchage
	30 min	(-) **** (** sous la terre), léger (V) au séchage

Tableau 12 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec le Calgon®

CALGON®		Concentration
pH 9-10		1% (pds/vol) (à saturation)
Temps d'application	5 min	- **** (** sous la terre)
	15 min	- **** (** sous la terre)
	30 min	- **** (** sous la terre)



7.5.2.4. Solution de nettoyage : AB57

Légende :

Terre : + Retrait facile et efficace (-) Retrait facile, mais présence de voile de terre
 (+) Retrait difficile, mais efficace - Retrait difficile et présence de voile de terre

Céramique : * surface érodée ** surface pulvérulente *** surface légèrement pulvérulente
 **** pas de changement de la surface (V) présence d'un voile blanc à la surface

Tableau 13 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'AB 57

AB 57		Concentration
pH 10		Pourcentage des produits prédéfini
Temps d'application	30 min	(-) ****
	1 heure	(-) ****
	2 heures	(-) + ****

7.5.2.5. Echangeur d'ions

Tableau 14 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'échangeur d'ions

ECHANGEUR D'IONS		Concentration ¹⁸⁰		
pH 1-2		25% ou (1 : 3)	50% ou (1 : 1)	75% ou (3 : 1)
Temps d'application	5 heures ¹⁸¹	- **** (V) léger	(-) - **** (V) léger	+ (+) **** (V) léger
	12 heures	(-) - ****	+ (+) ****	+ (+) ****
	24 heures	(-) (+) *** (V)	+ (+) *** (V)	+ (+) *** (V)

¹⁸⁰ CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.38.

¹⁸¹ OETER, 1991, p.43-44 ; CASALETTO *ET AL.*, 2008, p.38-41.

7.5.3. Synthèse

Les acides sont très efficaces pour ramollir la terre. Mais leur application implique une effervescence autant sur la terre que sur la céramique. La terre forme des cavités après l'application des acides et les inclusions calcaires présentes dans la terre cuite ont presque complètement disparu. L'effet de l'acide citrique sur la céramique semble moins agressif visuellement mais, il fragilise tout de même la surface, la rendant assez pulvérulente. L'acide acétique quand à lui agresse beaucoup la surface qui est érodée et pulvérulente. De plus, la présence d'un voile blanc indique que les sels dissous par l'acide cristallisent à la surface lors du séchage (fig.34)¹⁸².

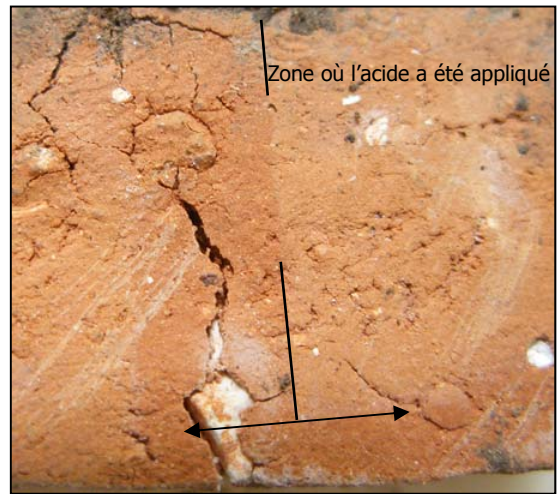


Fig. 34 : A droite, la céramique a été attaquée par l'acide

Les complexants ne présentent pas de très bons résultats : la terre demeure difficile à retirer et un voile de terre assez important reste à la surface de la terre cuite. Le Calgon® n'altère pas directement la céramique ; sous la terre, la céramique était légèrement plus friable, ce qui peut être dû à l'humidité de la terre. L'EDTA laisse un léger voile blanc sur la terre cuite qui ne disparaît pas après rinçage (fig.35) ; il est possible que l'EDTA ait également solubilisé des ions de fer de la terre cuite.

L'AB®57 est un compromis entre le bicarbonate d'ammonium et l'EDTA. Il donne de meilleurs résultats que l'EDTA seul (voiles de terre et sur la terre cuite moins importants). Mais le voile de terre reste encore assez présent (fig.36).



Fig. 35 : Présence d'un voile de terre et d'un voile blanc sur la céramique après nettoyage avec l'EDTA



Fig. 36 : Présence d'un voile de terre assez important après nettoyage avec l'AB®57

L'échangeur d'ions donne de très bons résultats lorsqu'il est peu dilué, à 75% (la résine étant en plus grande quantité, elle a la possibilité d'échanger plus d'ions, donc d'être plus efficace). Le temps

¹⁸² LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989, P.125.

d'application ne joue pas un grand rôle à ce pourcentage. Il n'altère pas la céramique mais laisse un voile après séchage ; la terre cuite doit être bien rincée après application, car la résine peut rester en surface.

Le bicarbonate de sodium est très efficace pour ramollir la terre mais un très léger voile de terre est présent à la surface de l'éprouvette. L'hydrogénocarbonate d'ammonium ne ramollit pas autant la terre que le bicarbonate de sodium, mais il est plus efficace pour retirer le voile de terre à la surface des éprouvettes. Nous avons constaté qu'aucune de ces deux solutions n'altère davantage la céramique (pas de pulvérisation, ni de voile), même après 6 heures d'application du produit.

7.5.4. Conclusion

Les acides, bien que faibles, ne sont pas conseillés pour le nettoyage des céramiques peu cohésives, car ils attaquent la surface des éprouvettes en terre cuite qui ne sont pas aussi fragiles que celles-ci. Les complexants et l'AB®57 ne sont pas assez efficaces pour retirer plus aisément la terre et sont donc à mettre de côté (fig.37).

Nous retenons, dans ce test, trois produits qui ont bien fonctionné pour retirer la terre : les bicarbonates de sodium et d'ammonium, ainsi que l'échangeur d'ions. Les bicarbonates n'ont pas modifié l'aspect ni la structure de la terre cuite. L'échangeur d'ions y a laissé une légère trace à l'endroit du contact direct, mais la partie recouverte de terre n'a aucunement été modifiée par l'application du produit.

Nous n'avons pas sélectionné uniquement le meilleur produit testé sur les éprouvettes, car n'étant pas de même nature, les céramiques peuvent réagir différemment avec les produits. C'est pourquoi nous avons sélectionné les trois meilleurs produits pour les tester sur les céramiques archéologiques.



Fig. 37 : Eprouvettes de terre cuite après les tests de nettoyage

7.6. Tests de compatibilité des consolidants avec les produits chimiques

7.6.1. Introduction/mise en œuvre

Etant donné la fragilité des céramiques, une consolidation est probablement nécessaire avant de pouvoir appliquer les solutions aqueuses à leur surface, risquant de les fragiliser davantage. Pour ce faire, nous avons testé sept consolidants : le cyclododécane, deux dispersions acryliques (Primal® WS24, Plextol® B500), une solution acrylique (Paraloid® B72), deux éthers de cellulose (Tylose®, Klucel® G) et l'alcool polyvinylique. Nous avons appliqué ces consolidants en film d'une épaisseur de 0.5-1 mm sur une plaque en verre pour mieux observer leur réaction sur une surface lisse. Nous avons ensuite appliqué les compresses de produits (avec la pulpe de cellulose) sur chacun des films pendant 5 heures (temps maximal d'application).

7.6.2. Résultats

Nous présentons ici la synthèse des résultats qui se trouvent sous forme de tableau, dans l'APPENDICE IV :

- Les éthers de cellulose et l'alcool polyvinylique se dissolvent ou se ramollissent fortement avec tous les produits, car ils sont solubles dans l'eau.
- La Primal® WS24, une dispersion acrylique, a également tendance à se ramollir ou à blanchir au contact prolongé avec les produits et/ou l'eau.
- La Plextol® B500, une autre dispersion acrylique, ne se dissout pas, mais se ramollit (devient plus élastique) avec certains produits (échangeur d'ions, acide acétique, bicarbonate d'ammonium) et blanchit avec tous les produits, donc avec un contact prolongé avec l'eau.
- Le cyclododécane blanchit légèrement avec le bicarbonate de sodium et l'EDTA, et devient plus ou moins pulvérulent selon les produits. Il perd sa capacité de consolidant.
- Le Paraloid® B72 semble être le consolidant le plus adapté. Il se ramollit légèrement avec les acides et le bicarbonate d'ammonium, et blanchit un peu avec le Calgon®. Mais dans l'ensemble, le film reste intact et dur.

7.6.3. Conclusion

Les consolidants solubles dans l'eau risquent de se solubiliser lors de l'application des solutions aqueuses pendant quelques heures et perdre leur fonction de départ. Les dispersions acryliques ont tendance à blanchir, ce qui pourrait modifier l'aspect visuel de la céramique après l'application des produits. Le cyclododécane a tendance à devenir pulvérulent et donc à perdre sa fonction de consolidant. Il serait plus

judicieux de l'utiliser comme consolidant temporaire et de nettoyer la terre au fur et à mesure qu'il se sublime.

Le Paraloïd B72 reste une fois de plus le consolidant le plus efficace, qui ne change pas d'aspect et est stable dans le temps. Car il faut préciser qu'une consolidation n'est jamais complètement réversible, alors il est plus judicieux d'utiliser dès le départ un produit stable.

7.7. Tests de nettoyage par dissolution progressive des consolidants

7.7.1. Introduction/mise en œuvre

La surface des céramiques a tendance à être plus attachée aux dépôts terreux qu'à la pâte même de la céramique. Pour cette raison, il semble plus judicieux d'alterner des phases de consolidation et de nettoyage avec un solvant qui dissout le consolidant¹⁸³.

Nous avons testé cette méthode sur deux tessons de céramique provenant du même site archéologique : le premier était une céramique plus ou moins grossière, avec une surface irrégulière (tesson 1). Le second provenait d'une céramique fine qui a le même problème de faible cohésion (tesson 2).

Parmi les consolidants, nous avons opté pour le Paraloïd® B72 pour les raisons citées dans le point 7.6.3. Les dispersions acryliques sont moins pénétrantes que les solutions et ont tendance à jaunir, comme les dispersions vinyliques et l'alcool polyvinylique. Les éthers de cellulose ont un faible pouvoir de cohésion et, avec un nettoyage à l'eau, ils perdent leur capacité de consolidant. En utilisant le Paraloïd® B72, cela nous permettait également de le dissoudre ponctuellement avec de l'acétone, et de laisser les parties déjà nettoyées protégées. Nous avons ensuite retiré la terre avec un pinceau-brosse doux.

Nous avons également testé le cyclododécane que nous avons appliqué en solution saturé dans du White Spirit sur un tesson de la céramique grossière (rep.11).

7.7.2. Résultats

7.7.2.1. Dissolution du Paraloïd® B72

Sur le tesson 1 avec la surface irrégulière, cette méthode n'est pas très efficace car il faut dissoudre le consolidant dans les anfractuosités. La méthode est plus efficace sur une céramique avec une surface lisse. Le tesson 2 présentait une surface partiellement couverte de terre ; les zones, où la terre était déjà absente, présentaient le corps céramique sous la surface originelle. La consolidation de la céramique a

¹⁸³ MEYER ET RELIER, 1988, p.35.

permis de garder une cohésion sur les parties dépourvues de terre et d'éviter ainsi que le pinceau ne l'érode davantage lors du nettoyage (fig.38).

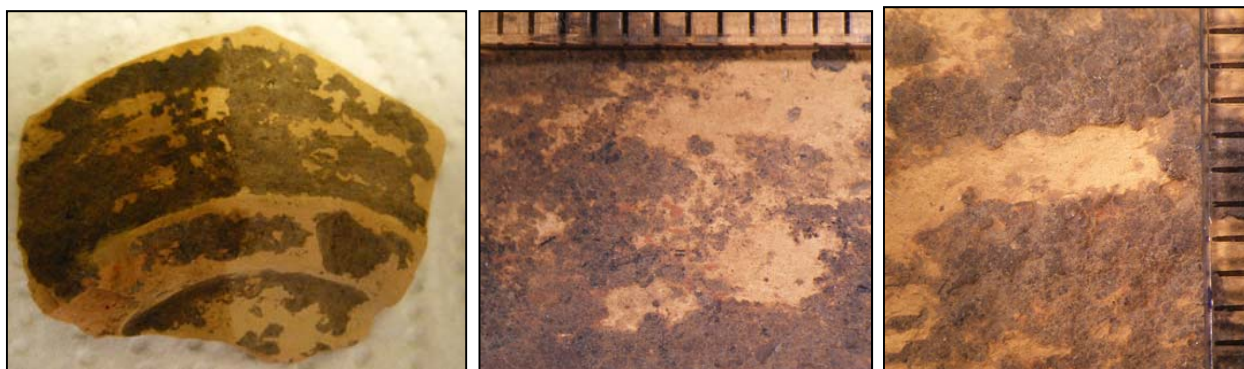


Fig. 38 : Nettoyage du tesson 2 par consolidation et dissolution de Paraloid®B72. A gauche : côté gauche pré-consolidé. Au centre, consolidé : présence de revêtement argileux (taches rouges). A droite, non consolidé : céramique érodée par le pinceau.

7.7.2.2. *Dissolution partielle et sublimation du cyclododécane*

Avec le cyclododécane, la méthode semble bien fonctionner si on laisse le CDD se sublimer par lui-même. Cependant, la méthode est longue et demande une attention particulière (fig.39). Nous avons également essayé de dissoudre partiellement le cyclododécane avec de l'acétate d'éthyle ; il est plus difficile de contrôler cette méthode car l'épaisseur du dépôt d'argile n'est pas homogène. Lorsqu'on dissout le cyclododécane en surface, il est possible que l'on retire la consolidation de la céramique dans le même temps (fig.40).



Fig. 39 : A gauche, tesson avant traitement ; au centre, tesson après nettoyage ; à droite, sublimation du CDD, côté gauche consolidé, côté droit non consolidé après nettoyage au pinceau (traces de pinceau visibles).



Fig. 40 : De gauche à droite : tesson avant traitement ; dissolution partielle du CDD avec l'acétate d'éthyle ; tesson après nettoyage (côté gauche non consolidé, côté droit consolidé)

7.7.3. Conclusion

Cette méthode est relativement longue et difficile étant donné que la terre est également consolidée. La dissolution avec un solvant est soit trop efficace, dans le cas du CDD, soit pas assez, dans le cas du Paraloid®. De plus, il n'y a pas de séparation distincte entre la terre et la céramique. La consolidation peut en effet consolider davantage la surface de la céramique à la terre, que la céramique elle-même. Avec la sublimation partielle, nous pouvons obtenir de bons résultats, mais le processus est long et doit être contrôlé en permanence (cycles de consolidation-sublimation-nettoyage renouvelés).

7.8. Tests de nettoyage sur les céramiques

7.8.1. Introduction/mise en œuvre

Parmi les huit produits testés sur les éprouvettes (cf. 7.5.), nous avons sélectionné les trois les plus efficaces pour les tester sur les céramiques archéologiques : le bicarbonate de sodium (10%, 2h), le bicarbonate d'ammonium (7%, 2h), et l'échangeur d'ions (75%, 5h). L'efficacité de l'échangeur d'ions, du bicarbonate de sodium et du bicarbonate d'ammonium peut changer sur les céramiques, c'est pourquoi nous n'avons pas choisi uniquement le meilleur produit des tests sur les éprouvettes. Nous avons opté pour les temps d'application minimaux, afin d'éviter une application trop longue et une éventuelle altération.

Nous avons testé ces produits avec et sans pré-consolidation, pour pouvoir estimer si la pré-consolidation est réellement nécessaire. D'après les résultats obtenus au point 7.6, nous avons choisi le Paraloid® B72 comme consolidant.

Après avoir ramolli la terre à l'aide des produits chimiques, nous l'avons dégagée mécaniquement. Pour ce faire s'offrent trois possibilités : le coton-tige, le pinceau et l'airbrush. Le coton-tige a l'avantage de ne pas trop mouiller et de ne pas trop éroder les céramiques. Mais des fils de coton s'accrochent à la rugosité de la céramique lors du passage du coton-tige. Il devient alors fastidieux de les retirer ensuite. C'est pourquoi

nous avons préféré l'utilisation du pinceau pour nettoyer la terre. Par contre, l'airbrush peut être très utile pour nettoyer les cavités. Nous avons alors nettoyé la moitié des tessons avec un pinceau et de l'eau et l'autre moitié avec l'airbrush, pour définir quelle méthode est la meilleure.

Pour réaliser ces tests, nous avons choisi des tessons du pot en céramique grossière (rep.11) et de la coupe en céramique fine (rep.12) (la pyxide (rep.5) est similaire). Le vase (rep.14) étant plus résistant et moins recouvert de terre, nous avons essayé de le nettoyer uniquement avec un pinceau-brosse doux et de l'eau déminéralisée.

7.8.2. Résultats

7.8.2.1. Tests de nettoyage chimique avec dégagement mécanique au pinceau ou à l'airbrush, avec ou sans consolidation préalable

Légende :

1. Pot (rep.11), surface externe (décor) 2. Pot (rep. 11), surface interne
 3. Coupe (rep. 12), surface externe
- Terre : + Retrait facile (+) Retrait assez facile
 (-) Retrait plutôt difficile - Retrait difficile
- Céramique : * surface très érodée ** surface érodée
 *** surface légèrement érodée **** surface non érodée (surface originelle)

Tableau 15 : Résultats de nettoyage avec le bicarbonate de sodium sur les céramiques archéologiques

BICARBONATE DE SODIUM 10% pendant 2h	Sans pré-consolidation	Avec pré-consolidation
Pinceau	1. + * 2. (+) ** 3. + ***/**	1. (+)/(-) *** 2. - **** 3. (-) ***/** (+ scalpel)
Airbrush	1. (-) * 2. - *** 3. (+) ***/**	1. - * 2. -- (?) 3. (-) (?)

Tableau 16 : Résultats de nettoyage avec le bicarbonate d'ammonium sur les céramiques archéologiques

BICARBONATE D'AMMONIUM 7% pendant 2h	Sans pré-consolidation	Avec pré-consolidation
Pinceau	1. (-) ** 2. (-)/- *** (+ scalpel) 3. (+)/+ **	1. (-)/- *** 2. - **** (+ scalpel) 3. (-) **** (+ scalpel)
Airbrush	1. (-) - **/** 2. (-) **/** 3. - - (?)	1. - ** 2. - - (?) 3. - *

Tableau 17 : Résultats de nettoyage avec l'échangeur d'ions sur les céramiques archéologiques

ECHANGEUR D'IONS 75% pendant 5h	Sans pré-consolidation	Avec pré-consolidation
Pinceau	1. + * 2. - ** (+ scalpel, pas bon) 3. (-) (+) ****	1. (+) ** 2. - *** (+ scalpel, pas bon) 3. (-) ***/****
Airbrush	1. (+) * 2. (-) ***/**** 3. (+) **/**	1. (-) **/** 2. (-) ***/**** 3. (-) ***/****

Synthèse des résultats (Photos en APPENDICE V) :

L'échangeur d'ions ramollit très bien la terre mais s'attaque également à la céramique. De plus, malgré un bon rinçage, nous avons constaté qu'en atmosphère humide, les tessons nettoyés avec l'échangeur d'ions développent facilement des moisissures. Le bicarbonate de sodium est un peu plus efficace que le bicarbonate d'ammonium. De manière générale, le résultat, au niveau de la conservation de la céramique, est meilleur lorsque le tesson a été pré-consolidé, mais la terre est plus difficile à retirer. L'airbrush est moins efficace que le pinceau pour nettoyer la terre : il a tendance à la retirer par écailles et à arracher la surface de la céramique.

7.8.2.2. Tests de nettoyage définitif

Après les résultats obtenus, il est clair que les bicarbonates sont les plus efficaces pour retirer la terre sans abîmer la céramique. Mais il est difficile de faire un choix à partir de tests effectués uniquement sur deux tessons, chacun d'eux étant divisé par quatre. Nous avons décidé de réaliser un second test qui appliquera les deux meilleurs résultats obtenus, c'est-à-dire :

- Pour le Rep.12 (céramique fine), le bicarbonate de sodium, sans pré-consolidation du tesson, et le bicarbonate d'ammonium avec pré-consolidation du tesson. Dans les deux cas, le nettoyage s'effectuera à l'aide d'un pinceau brosse dur et d'un autre doux.
- Pour le Rep.11 (céramique grossière), les deux bicarbonates seront appliqués avec pré-consolidation du tesson. Dans les deux cas, le nettoyage s'effectuera à l'aide d'un pinceau brosse dur et d'un autre doux.

Avant l'application des cataplasmes, nous avons partiellement solubilisé la pré-consolidation de la terre, avec un coton-tige imbibé d'acétone pour ne ramollir que la terre et pas la céramique.

Tableau 18 : Résultats de nettoyage des bicarbonates de sodium et d'ammonium sur la céramique grossière (Rep.11) et la céramique fine (Rep.12)

	Bicarbonate de sodium 10% pendant 2h	Bicarbonate d'ammonium 7% pendant 2h
Pot en céramique grossière (rep. 11), surface externe Photos en APPENDICE VI	(+) ***/**	(-) ***
Coupe en céramique fine (rep. 12), surface externe Photos en APPENDICE VI	+ ****	(+) ***

Légende : Pré-consolidé Non pré-consolidé

Terre : + Retrait facile (+) Retrait assez facile
 (-) Retrait plutôt difficile - Retrait difficile

Céramique : * surface très érodée ** surface érodée
 *** surface légèrement érodée **** surface non érodée (surface originelle)

7.8.3. Conclusion

Parmi les trois produits testés dans le point 7.8.2.1., nous avons donc éliminé l'échangeur d'ions car, d'une part il est efficace pour ramollir la terre mais semble également s'attaquer à la céramique, et d'autre part, il favorise le développement de micro-organismes (fig.41).



Entre le bicarbonate de sodium et le bicarbonate d'ammonium, la différence des résultats est assez minime, mais le bicarbonate de sodium ramollit plus facilement la terre, sur le pot en céramique grossière (rep.11) comme sur la coupe en céramique fine (rep.12). Les tests ont démontrés que la pré-consolidation sur la céramique grossière est inévitable, sinon la céramique se dissout lors du nettoyage à l'eau déminéralisée et au pinceau. Pour la coupe en céramique fine, les résultats sont meilleurs lorsqu'elle n'est pas pré-consolidée : la pré-consolidation agit davantage à l'interface terre-engobe qu'à l'interface engobe-céramique. La terre se détache alors en écailles, emportant avec elle la surface originelle, i.e. l'engobe. C'est pourquoi, nous avons opté pour le nettoyage au bicarbonate de sodium sans pré-consolidation, même si l'engobe est sensible et ne peut être détachée avec un pinceau trop dur.



Fig. 41 : Les moisissures se développent davantage sur le côté non consolidé

En ce qui concerne le vase *a trottola* (rep.14), la céramique est plus résistante que les deux autres testées et est moins recouverte de terre. Un simple nettoyage au pinceau brosse doux et à l'eau déminéralisée, sans consolidation préalable, est suffisant pour retirer la terre et garder la surface originelle de la céramique (fig.42-43).



Fig. 42 : Tesson avant (à gauche) et après nettoyage au pinceau-brosse doux et à l'eau déminéralisée



Fig. 43 : Tesson gauche nettoyé à l'airbrush, à droite au pinceau

8. TRAITEMENT DES CERAMIQUES

Après la batterie de tests effectués dans le chapitre 7, nous avons pu appliquer les méthodes de traitement sur les céramiques. Parmi les quatre céramiques étudiées, nous avons pu en nettoyer deux complètement et les avons également remontées et collées. Les deux autres n'ont été que partiellement nettoyées.

8.1. Vase *a trottola* (Rep.14)

D'après les tests de nettoyage effectués sur quelques tessons de cette céramique, il s'est avéré qu'il n'était pas nécessaire de la pré-consolider pour effectuer le nettoyage. La surface de la céramique est suffisamment résistante pour subir un nettoyage mécanique.

Nous avons effectué le nettoyage sous loupe binoculaire pour avoir une meilleure vision de la limite terre-céramique. Nous avons rincé la céramique, ainsi que dégagé la terre mécaniquement à l'aide d'un pinceau brosse à poils doux et d'eau déminéralisée. Au niveau des tranches, la terre est plus difficile à retirer, c'est pourquoi nous avons alterné l'utilisation d'un pinceau brosse à poils durs et un second à poils doux pour bien nettoyer les surfaces irrégulières. La surface interne des tessons a également été légèrement nettoyée, de manière à retirer les particules de dépôt les plus importantes, tout en laissant une trace de ce dépôt.

Lors du nettoyage de la surface des tessons, nous avons trouvé d'éventuelles traces de peinture (fig.44) ; en petite quantité et peu visibles à l'œil nu, nous avons tout de même tenté de les conserver. Nous avons nettoyé ces zones avec un pinceau à poils doux, puis consolidé au Paraloid® B72 à 5% dans l'acétone, pour obtenir une consolidation rapide en surface. La surface des zones consolidées a ensuite été nettoyée à l'acétone, avec un coton-tige, pour retirer les traces brillantes de consolidant.



Fig. 44 : Traces éventuelles de peinture rouge

Une fois les tessons nettoyés, nous les avons consolidés avec du Paraloid® B72 à 5% dans du toluène appliqué au pinceau sur les surfaces externes et internes, ainsi que sur les tranches. Etant donné le bon état de la céramique, deux applications du consolidant suffisaient (trop d'applications peuvent rendre la surface de l'objet brillante et donner un aspect plastique non désiré sur les objets poreux). Nous avons laissé le solvant s'évaporer complètement, le temps d'une nuit.

Nous avons ensuite remonté la céramique à sec, à l'aide de bandes adhésives de peintre (les tessons étant consolidés, il y a peu de risques que la surface se détériore), puis nous l'avons collée avec du Paraloid®

B72 en tube. Etant donné qu'il a déjà été consolidé au Paraloid® B72, nous avons préféré reprendre le même adhésif pour ne pas rendre le traitement trop hétérogène.

La céramique ayant une forme fermée, nous l'avons remontée en deux parties : la partie inférieure et la partie supérieure à l'épaule. Nous avons ensuite rejoint les deux parties. Il a été nécessaire de raboter légèrement les tranches au scalpel pour que les deux parties s'emboîtent bien (fig.45).



Fig. 45 : Le remontage a été effectué en deux parties (gauche et centre) ; à droite, vase *a trottola* après traitement.

8.2. Coupelle en céramique commune (Rep.12)

Les résultats des tests, obtenus au point 7.8.2., démontrent qu'il est plus facile de retrouver la surface originale (engobe) de la céramique sans consolidation préalable des tessons.

Nous avons appliqué le bicarbonate de sodium en compresse avec de la pulpe de cellulose sur du papier japon posé sur la céramique préalablement humidifiée avec un mélange eau-éthanol (5 :1). La compresse a été laissée pendant 2 heures sur la céramique couverte d'un film de polyéthylène pour éviter que la compresse ne sèche.

La céramique a ensuite été rincée et nettoyée avec un pinceau brosse à poils durs et de l'eau déminéralisée dans un premier temps. Une fois le gros de la terre retiré, nous avons continué le nettoyage avec un pinceau brosse à poils doux jusqu'à retrouver l'engobe. A certains endroits, l'engobe n'a aucune adhérence avec la céramique ; il est alors impossible de le maintenir à la surface. Nous avons également utilisé un scalpel pour gratter doucement la terre aux endroits où elle était plus épaisse.

Sur la surface interne, l'engobe est quasiment inexistant et il est difficile d'obtenir la surface originelle sans l'endommager (les tessons n'ont pas été consolidés). La terre est plus tenace sur la surface interne et la limite surface-terre est extrêmement mince, c'est pourquoi nous avons décidé de laisser, avec l'accord de l'UBC, un voile de terre à la surface à certains endroits, ce qui a permis de conserver les lignes de tournage. Que ce soit sur la surface interne ou externe de la céramique, nous retrouvons toujours une surface assez lisse, qui correspondrait à la surface de la céramique sous l'engobe. Nous avons nettoyé les tranches avec un pinceau brosse à poils durs et un second à poils doux, en nous aidant du scalpel pour

retirer la terre qui restait bien collée dans les anfractuosités. Il est difficile de nettoyer les tranches sans éroder les bords.

Après le séchage complet des tessons, nous les avons consolidé avec une solution de 5% de Paraloid® B72 dans du toluène. Il a fallu trois applications de consolidant, sur les surfaces comme sur les tranches, pour que les surfaces ne soient plus pulvérulentes. Nous les avons laissé sécher une nuit le temps que le toluène s'évapore complètement.

Pour le remontage, il n'était pas possible de faire usage de bandes adhésives pour maintenir les tessons bien jointifs, car l'engobe était trop fragile, malgré la consolidation. Nous avons procédé en plusieurs parties, en collant, avec du Paraloid® B72 en tube, plusieurs groupes de tessons ensemble pour ensuite tous les réunir. Nous avons utilisé un bac à sable pour maintenir les fragments ensemble, le temps à la colle de prendre. Nous avons protégé la céramique avec un film polyéthylène pour éviter que le sable n'abrase la surface de la céramique (fig.46-47).



Fig. 46 : Le remontage s'est effectué dans un bac de sable pour maintenir les tessons



Fig. 47 : Coupe après traitement

8.3. Pot modelé à la main (Rep.11)

Le pot modelé à la main est fragile et se dissout littéralement dans l'eau. Nous avons alors préconsolidé les tessons de céramique avant d'effectuer le traitement de nettoyage. Nous avons utilisé une solution de Paraloid® B72 à 5% dans du toluène. Deux applications minimum sont nécessaires pour consolider la céramique très poreuse. Nous avons ensuite partiellement dissous le consolidant présent dans la terre avec de l'acétone ; de cette manière, les compresses peuvent ramollir la terre sans trop affecter la céramique. Nous avons également appliqué des cataplasmes de bicarbonate de sodium pendant deux heures sur les tessons de céramique. Nous avons ensuite nettoyé les surfaces lisses avec un pinceau brosse dur pour retirer le gros de la terre, puis avec un pinceau brosse doux lorsque la surface de la céramique était proche. Le pot ayant des décors incisés, il est difficile de nettoyer les zones creuses au pinceau sans éroder les zones saillantes, malgré la consolidation. Nous avons alors nettoyé les parties décorées avec un scalpel et un pinceau brosse doux (fig.48).

Le traitement n'étant pas terminé (fig.49), une consolidation permanente, avec du Paraloid® B72 à 5% dans du toluène, sera ensuite nécessaire lorsque tous les tessons seront nettoyés et bien secs. Deux à trois applications seront nécessaires pour bien combler les pores de la céramique. Le remontage s'effectuera également avec du Paraloid® B72 en tube.



Fig. 48 : A gauche, tesson non nettoyé ; à droite, tesson nettoyé



Fig. 49 : Tessons du pot en l'état actuel

8.4. Pyxide (Rep.5)

Cette céramique a la même problématique que la coupe en céramique commune (Rep.12) (fig.50). Nous avons alors décidé d'appliquer le même traitement, à savoir un ramollissement de la terre avec des compresses de bicarbonate de sodium, sans pré-consolidation. Il est possible que la céramique soit recouverte d'un engobe.

La céramique étant quasiment entière, nous avons effectué le nettoyage sur quatre tessons qui se sont cassés. Nous avons pu remarquer que la terre se détache par écailles ; il est possible qu'il existe un engobe, mais il est trop peu adhérent pour rester à la surface de la céramique. Cependant, en retirant la terre, nous obtenons une surface lisse qui peut être la surface sous l'engobe (fig.51). Nous avons également remarqué des zones craquelées et rouges sur les lèvres de la pyxide ; ces craquelures pénètrent d'env. 1 mm dans la pâte céramique, d'autres, plus fines, plus éparées et moins profondes, sont présentes sur le reste des tessons (fig.52). Elles peuvent être un indication d'un défaut de fabrication lors du séchage ou de la cuisson.

Le traitement étant inachevé (fig.53), nous procéderons, une fois la céramique nettoyée, également à une consolidation générale, avec du Paraloid B72® à 5% dans du toluène. Les quatre tessons seront également recollés avec du Paraloid® B72 en tube.



Fig. 50 : Tesson de la pyxide avant traitement



Fig. 51 : Tesson après nettoyage



Fig. 52 : Craquelures rougâtres sur la
pâte céramique



Fig. 53 : Pyxide en l'état actuel

9. CONSERVATION PREVENTIVE

Avant leur traitement, les céramiques étaient emballées dans des sachets Minigrip® et déposées sur des plateaux en polypropylène. La pyxide (rep.5) entière a été emballée dans du plastique bulle. Actuellement, nous avons pu reconstituer deux des céramiques fragmentaires. Il était alors nécessaire de leur créer un conditionnement pour pouvoir les transporter du Museum für Urgeschichte à l'Ufficio dei Beni Culturali en toute sécurité.

Nous avons décidé de leur créer un conditionnement dans une caisse Rako® résistante aux chocs et facilement transportable. Nous avons utilisé, comme matériau de conditionnement, une mousse en polyéthylène, car il s'agit d'un matériau stable et facile à travailler. Cependant, une fois découpée, la mousse est légèrement abrasive et risque d'endommager la surface des céramiques malgré leur consolidation. Nous avons alors recouvert la mousse, où devaient être déposées les céramiques, d'un textile Tyvek®, un tissu doux et très résistant (contrairement au papier de soie). Pour le vase *a trottola* (rep.14), nous avons dû lui créer également une sorte de couvercle pour protéger le goulot lors des manipulations (fig.54).



Fig. 54 : Conditionnement pour les quatre céramiques

Pour le stockage futur de ces céramiques, il sera possible de récupérer le conditionnement actuel. Dans l'idéal, les céramiques devraient être stockées dans un environnement stable avec une température entre 15°C et 25°C et une humidité relative entre 40 et 60%¹⁸⁴. Dans la mesure du possible, il faut éviter des fluctuations importantes et rapides d'humidité relatives. Cela peut provoquer des cycles de solubilisation et cristallisation des sels solubles potentiellement présents dans les pâtes céramiques (restes de bicarbonate de sodium)¹⁸⁵.

Dans le cas du vase *a trottola* (rep.14), il est possible qu'il ait contenu du vin qui a pu s'oxyder en vinaigre, donc en acide acétique qui peut nuire à certains composants calcaires de la céramique et des céramiques environnantes¹⁸⁶.

¹⁸⁴ MARDAGA, 2001, p.86 ; BERGERON, 1991, p. 126.

¹⁸⁵ BOCCIA PETRAKIS, 1996, p.146.

¹⁸⁶ BOCCIA PETRAKIS, 1996, p.146.

10. SYNTHÈSE – DISCUSSION

Ce travail a permis de développer des méthodes de nettoyage pour des céramiques archéologiques tendres et peu cohésives recouverte de terre argileuse. Ce dépôt de terre était problématique pour la conservation et l'étude de ces céramiques. En effet, dès le moment où l'on voulait retirer la terre, l'intervention devenait dommageable à l'objet : trempées dans l'eau, les céramiques se désagrégeaient complètement, alors que sèches, l'argile se détachait en écailles, emportant avec elle la surface originelle des céramiques.

Au cours de ce travail, nous avons effectué plusieurs séries de tests sur le nettoyage, mécanique et chimique, et sur la pré-consolidation probablement nécessaire à certaines céramiques particulièrement fragiles. Nous avons testé des méthodes mécaniques, en utilisant un airbrush ainsi que des adhésifs qui permettaient de retirer la terre soit par abrasion, soit par pelage d'un film adhésif. Nous avons noté que ces méthodes étaient peu concluantes et qu'elles étaient, soit trop peu efficaces pour retirer le dépôt de terre, soit trop radicales pour la céramique (éliminent le dépôt de terre, mais également une partie de la surface de la céramique).

Nous nous sommes alors concentrés sur les méthodes de nettoyage incluant un ramollissement chimique de la terre. D'après les résultats d'analyses, nous avons pu constater que la terre se différenciait des céramiques par la présence de carbonates. De plus, sur les lames minces, nous avons pu constater que la terre n'était pas très attachée à la céramique, à l'exception des tranches. Mais l'observation faite sur une lame mince d'un tessou de céramique n'est pas représentative de la totalité de l'objet. Lors du nettoyage, à certains endroits, la terre se détachait par écailles, étant peu adhérente à la céramique, alors qu'à d'autres endroits, la terre laissait place à un engobe, que ne nous démontraient pas les observations microscopiques.

Pour mettre en œuvre les tests chimiques, nous avons dû diriger nos recherches dans un autre domaine que celui de la conservation de céramiques archéologiques. Les peintures murales et les peintures sur chevalet sont un sujet beaucoup plus développé qui ont eu de tests, en particulier sur le nettoyage de carbonates. Nous nous sommes donc inspirés de ces études pour mener à bien nos recherches.

Nous pouvons résumer les tests ainsi :

- Le consolidant le plus adapté pour la pré-consolidation et la consolidation est le Paraloid® B72, qui permet de travailler avec une solution aqueuse sans modifier la force de consolidation ni l'aspect visuel du consolidant. De plus, il s'agit d'un adhésif stable et qui peut être re-dissous après plusieurs années si nécessaire. Il est préférable de s'assurer que l'adhésif est stable dans le temps car une consolidation n'est jamais complètement réversible. La céramique grossière modelée à la main (rep.11) était tellement sensible à l'eau qu'il était inévitable de la pré-consolider pour effectuer le traitement de nettoyage. Par contre, la pré-consolidation des céramiques plus fines,

comme la coupe (rep.12) et la pyxide (rep.5), endommageait davantage leur surface que lorsqu'elles n'étaient pas pré-consolidées. En effet, la pré-consolidation agissait plus sur l'interface terre-surface (engobe) que sur l'interface surface-céramique. Il était alors difficile de garder cette surface originale avec une pré-consolidation.

- Pour l'application des produits chimiques sur les éprouvettes, il était important d'agir surtout en surface et sur plusieurs heures. Nous avons alors choisi d'effectuer des cataplasmes ou gels, c'est pourquoi nous avons testé plusieurs épaississants pour qu'ils soient compatibles avec les produits chimiques. Nous avons observé que la pulpe de cellulose est la plus stable et la plus inerte. De plus, elle est facile d'application et n'interagit pas avec le substrat. Nous n'avons pas privilégié la silice amorphe car, dans un sens, elle a une composition semblable à la terre et à la céramique. Nous ne savons pas s'ils peuvent interagir, mais nous avons préféré ne pas prendre le risque et choisir un matériau différent du substrat. De plus, il est parfois évoqué que la silice amorphe, lorsqu'elle est aspirée, peut être nocif pour la santé ; nous voulions éviter ce risque.
- Les tests de nettoyage chimiques se sont avant tout effectués sur des éprouvettes de terre cuite recouverte de la même terre présente sur les céramiques. Nous avons pu tester huit produits, à différentes concentrations et différents temps d'application, afin de pouvoir évaluer lesquels étaient les plus efficaces pour retirer la terre et surtout les moins agressifs pour les céramiques. Parmi les deux acides (acétique et citrique), les deux sels alcalins (bicarbonate de sodium et bicarbonate d'ammonium), les deux complexants (EDTA et Calgon®), le mélange de plusieurs produits (AB®57) et l'échangeur d'ions, nous sommes arrivés aux résultats que les acides étaient trop agressifs pour les céramiques et les complexants et l'AB®57 trop peu efficaces pour ramollir la terre. Nous avons alors re-testé les sels alcalins et l'échangeur d'ions sur des tessons de céramiques que nous avons divisé en quatre : une moitié pré-consolidée, l'autre non et une moitié nettoyée au pinceau brosse et la seconde à l'airbrush. De ces tests, nous avons noté que l'échangeur d'ions altérait les céramiques et que l'airbrush n'était pas efficace. Nous avons fait une dernière batterie de tests avec les sels alcalins, et nous sommes arrivés à la conclusion que le meilleur produit pour ramollir la terre était le bicarbonate de sodium. Cependant, nous nous sommes tout de même trouvés face à un dilemme. Le bicarbonate d'ammonium ne forme normalement pas de sels, mais son efficacité est moindre de celle du bicarbonate de sodium. Par contre, le bicarbonate de sodium peut former des sels qui risquent de cristalliser lors de fluctuations d'humidité relative et, avec le temps, provoquer des efflorescences ou des subefflorescences pouvant faire éclater la céramique. Mais pour que ce phénomène se produise, il faut que le degré de saturation en humidité fluctue, et cela est assez rare dès le moment où l'on garde une humidité relative stable et ne dépassant pas 80%. De plus, nous avons amplement rincé les céramiques et aucun sel n'est apparu lors de leur séchage après le nettoyage.
- Concernant la quatrième céramique, le vase *a trottola* (rep.14), elle ne nécessitait pas l'intervention de produits chimiques pour ramollir la terre ; étant plus résistante que les trois

autres, un nettoyage avec de l'eau déminéralisée et un pinceau brosse doux est largement suffisant.

Nous tenons à préciser que les résultats obtenus ne s'appliquent pas forcément à chaque cas de céramique fragile recouverte de dépôt argileux. Le traitement de céramique présentant une telle problématique doit être adapté pour chacune d'elle. Nous avons pu constater que parmi les quatre céramiques étudiées pour ce travail, nous avons trois méthodes de traitement différentes.

11. CONCLUSION GENERALE

Lorsqu'on parle de conservation-restauration de céramique, on fait généralement référence aux céramiques historiques, tels que les faïences ou les porcelaines. La conservation de céramiques archéologiques est que très peu évoquée dans la littérature, car, d'une part, les céramiques sont généralement résistantes et nettoyées par les archéologues, et d'autre part peu de recherches ont été effectuées sur les quelques cas de céramiques tendres.

Cependant, l'Ufficio dei Beni Culturali de Bellinzona (TI) s'est retrouvé face à une situation problématique. En effet, une grande quantité de céramiques sortant des fouilles sont recouvertes de terre argileuse, et sont sujettes à un défaut de cuisson qui les rend tendres et peu cohésives. Les archéologues ne pouvaient les nettoyer à l'eau courante à l'aide d'une brosse, au risque de perdre des informations, voire l'objet entier. C'est pourquoi ils ont nous ont confié la tâche de développer une méthode de nettoyage, qu'elle soit mécanique ou chimique, pour retirer la terre sans davantage endommager les céramiques fragiles.

Au cours de ce travail, nous avons effectué des séries de tests qui nous ont menés à des résultats probants pour les archéologues. Bien que prévisible, les tests mécaniques n'ont donné aucun résultat satisfaisant ; par contre, les tests chimiques ont pu donner quelques bons résultats qui nous ont permis de retrouver les surfaces originelles des céramiques, ce qui était la volonté des archéologues.

Il reste une méthode que nous avons citée dans notre travail mais que nous n'avons pas eu le temps de tester, le laser. C'est un sujet qui peut être développé, car il devient très utilisé en conservation-restauration et que le nettoyage de céramiques avec le laser n'a, semble-t-il, pas encore été testé.

Nous espérons que ce travail puisse être utile pour le nettoyage des autres céramiques tendres présentes à l'Ufficio dei Beni Culturali, ainsi que dans d'autres institutions qui ont des céramiques présentant une problématique similaire. Cependant, une telle opération est longue et délicate, c'est pourquoi nous pensons qu'elle devrait être effectuée par un conservateur-restaurateur, les archéologues ayant déjà une masse de travail assez conséquente outre le nettoyage des céramiques.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Liste des références citées dans le texte. Bibliographie générale présente en Appendice VII.

- ACTON, 1996** : Acton, Lesley and McAuley, Paul. Repairing Pottery and Porcelain, a practical guide. Herbert Press, London, 1996.
- ADAM ET KOENIG, 2005** : Adam, Anne-Marie et Koenig, Marie-Pierre. La céramique domestique en Alsace de la fin du Bronze final au début de La Tène : essai de synthèse. *In* Adam, Anne-Marie (dir.). Recherches de protohistoire alsacienne. La céramique d'habitat du Bronze final III à La Tène ancienne. Revue Archéologique de l'Est, Dijon, 2005.
- ALVAREZ, 1987** : Alvarez, Luciano Cedillo. "Stucco: a report on the methodology developed in Mexico". *In* Hodges, Henry W.M. (Ed.). In situ archaeological conservation. Proceeding of meetings, April 6-13, 1986, Mexico. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1987, pp. 90-97.
- ANDREY, 2007** : Andrey, Aline. Autour de la tombe. Les structures funéraires non sépulcrales dans les nécropoles gallo-romaines d'Avenches, de Nyon et de Martigny. Mémoire de licence, Université de Lausanne, Faculté des Lettres, Institut d'Archéologie et des Sciences de l'Antiquité, Archéologie provinciale romaine, Lausanne, 2007, *non publié*.
- ARBEITSBLÄTTER, 1969** : Arbeitsblätter, Heft 1, Gruppe 16, Materialien, 1969, p. 3-6.
- ASHLEY-SMITH, 1987** : Ashley-Smith, Jonathan *et al.* Science for conservators. Volume 2: Cleaning. Museums & Galleries commission and Routledge, London, 1987.
- BERGER ET AL., 1999** : Berger, Ludwig *et al.* Römischer Keramik in der Schweiz/ Céramique romaine en Suisse/ Ceramica romana in Svizzera. Antiqua 31, publication de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Basel, 1999.
- BERDUCOU, 1991** : Berducou, Marie. "La céramique archéologique". *In* Berducou, Marie-Claude (dir.). La conservation en archéologie. Masson, Paris, 1991, Chapitre 3, pp. 78-119.
- BERGERON, 1991** : Bergeron, André et Rémillard, France. L'archéologue et la conservation, vade mecum québécois. Les publications du Québec, Québec, 1991. Chapitre 1 : l'évolution des objets dans le sol, pp. 7-14.
- BERTHOLON, 2007** : Bertholon, Régis. Méthode de description de la corrosion. Strates caractères. Document de travail, Paris, 2007. *Non publié*.
- BINI ET AL., 2001** : Bini, A. *et al.* Geologia del Mendrisiotto (Canton Ticino, Svizzera): Messiniano, Pliocene e Quaternario. Ufficio federale delle acque e della geologia UFAEG, Berna, 2001.

- BOCCIA PATERAKIS, 1996** : Boccia Paterakis, Alice. "Conservation: preservation versus analysis?". *In* Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 143-148.
- BÖHME UND WÖLKER, 1994** : Böhme, Dirk und Wölker, Gerald. "Chemische Entfernung von Kalkschleiern und -krusten auf Wandmalerei – Grundsätzlichen Überlegungen und orientierende Modellversuche". Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 8/1994, Heft 1. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 1994, pp. 78-85.
- BOTTICELLI, 2007** : Botticelli, Guido. Metodologia di restauro delle pitture murali. Centro Di, Firenze, 2007.
- BRINCH MADSEN, 1994** : Brinch Madsen, Helge. Handbook of field conservation. Konservatorskolen, Det kongelige Danske Kunstakademi, Allingåbro, Danmark, 1994.
- BRUHIN, 2008** : Bruhin, Stefanie. Sublimation von Cyclododecan. Travail de diplôme de la Haute école ARC Arts Appliqués, filière conservation-restauration, Orientation objets archéologiques et ethnographiques, La Chaux-de-Fonds, 2008, *non publié*.
- BUYS AND OAKLEY, 1996** : Buys, Susan and Oakley, Victoria. The conservation and restoration of ceramics. 1st edition 1993, Butterwoth-Heinemann Ed., Oxford, 1996.
- CALDERARA, 2007** : Calderara. 240 Tremona – località Piasa: necropoli romana. Rapporto di scavo marzo – aprile 07. Mapp.526 / coordinate 717.808 – 82.215 / quota 574.85 Slm. Ufficio dei beni culturali, Bellinzona, 2007. *Non publié*.
- CALDERARA, 2006** : Calderara. 240 Tremona – località Piasa: necropoli romana. Rapporto di scavi sett. – ott. 06. Mapp.526 / coordinate 718.640 – 82.180 / quota 574.85 Slm. Ufficio dei beni culturali, Bellinzona, 2006. *Non publié*.
- CARDANI, 2007** : Cardani Vergani, Rossana. "Ricerche archeologiche ein Cantone Ticino nel 2006". *In* Bollettino dell'Associazione Archeologica Ticinese, Numero 9, 2007. Società d'Arti Grafiche Veladini SA, Lugano, 2007, pp. 28-31.
- CARDANI, 2008A** : Cardani Vergani, Rossana. "Ricerche archeologiche ein Cantone Ticino nel 2007". *In* Bollettino dell'Associazione Archeologica Ticinese, Numero 20, 2008. Società d'Arti Grafiche Veladini SA, Lugano, 2008, pp. 26-31.
- CARDANI, 2008B** : Cardani Vergani, R. "Tremona TI, Località Piasa". *In* Niffeler, U. (dir.). Jahrbuch Archäologie Schweiz, Annuaire d'Archéologie Suisse. Annuario d'Archeologia Svizzera. Annual Review of Swiss Archaeology, Volume 91. Achäologie Schweiz, 2008, Basel, p. 208-210.
- CARDANI E MOSETTI, 2007** : Cardani Vergani, R. e Mosetti, L. "Tremona TI, Località Piasa". *In* Niffeler, U. (dir.). Jahrbuch Archäologie Schweiz, Annuaire d'Archéologie Suisse. Annuario d'Archeologia

- Svizzera. Annual Review of Swiss Archaeology, Volume 90. Achäologie Schweiz, 2007, Basel, p. 174-176.
- CASALETTO, 2008** : Casaletto, M.P *et al.* "Chemical cleaning of encrustations on archaeological ceramic artefacts found in different Italian sites". Applied Physics A92, 2008, p. 35-42.
- CAVARI, 2007** : Cavari, Fernanda. "Conservazione e restauro della ceramica archeologica". *In* Introduzione allo studio della ceramica in archeologia. Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Siena, 2007. Capitolo2, Methodologie di studio della ceramica, pp. 63-86.
- CRONYN, 1990** : Cronyn, J. M. The elements of archaeological conservation. Routledge, London, 1990.
- DE MICHELI SCHULTESS, 2007** : De Micheli Schulthess, Christiane. "Ceramica ed archeologia in Ticino". *In* Ceramica: testimonianza culturale, venerdì 16 marzo 2007, Trevano, Lugano. SUPSI, Dipartimento ambiente costruzionee design, Corso DACD 018, *non publié*.
- DE MICHELI SCHULTESS, 2008** : De Micheli Schultess, Christiane. "I reperti romani dalla necropoli e dal sito di Tremona". *In* Martinelli, Alfio (dir.). Tremona Castello. Dal V millennio a.C. al XIII secolo d.C. Ed. All'Insegna del Giglio, Borgo S. Lorenzo, 2008. Capitolo 7, L'epoca romana, pp. 423-444.
- EKKEHARD, 1992** :Ekkehard, Fritz. Reinigungs- und Umwandlungsverfahren mit Ammoniumcarbonat – Möglichkeiten und Gefahren beim Einsatz an Wandmalereien. Diplomarbeit, Hildesheim Holzminden, 1992, *non publié*.
- EKKEHARD, 1995** : Ekkehard, Fritz. Gypsumwandlungs- und Reinigungsverfahren an Wandmalereien – Möglichkeiten und Gefahren beim Einsatz on Ammoniumcarbonat. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 9/1995, Heft 2. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 1995, pp. 366-375.
- FELBER ET AL., 2000**: Felber, Markus *et al.*, Giorgio. Geo-Guida del Monte San Giorgio (Ticino/Svizzera-Provincia di Varese/Italia), carta escursionistica scientifico-didattica. Geoforum CH, 2000.
- FELLER AND WITT, 1990** : Feller, R.L. and Witt, M. Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation. The Getty Conservation Institut, USA, 1990.
- FILDER, 1996** : Filder, John. "Fragile Remains: An international review of conservation problems in the decay and treatment of architectural terracotta and faience". *In* Architectural Ceramics, their history, manufacture and conservation. A joint symposium of English Heritage and the United Kingdom Institute for Conservation, 22-25 September 1994. James and James Ed. English Heritage, London, 1996.

FLUTSCH ET ROSSI, 2002 : Flutsch, Laurent et Rossi, Frédéric. La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen-âge, Volume 5 : Epoque romaine. Quand la Suisse n'existait pas, Le temps des Romains. Edition Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle, 2002.

GIANNICCHEDDA E VOLANTE, 2007 : Giannichedda, Enrico e Volante, Nicoletta. "Materiali e etchniche di fabbricazione". In Introduzione allo studio della ceramica in archeologia. Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Sienna, 2007. Capitolo2, Methodologie di studio della ceramica, pp. 3-32.

GIBSON AND WOODS, 1997 : Gibson, Alex and Woods, Ann. Prehistoric Pottery for the Archaeologist. 1st edition 1993, Leicester University Press Ed. London, 1997. Chapter 1, p. 5-25.

GRISSOM, 1996 : Grissom, Carol A. "Conservation of Neolithic lime plaster statues from 'Ain Ghazal". In Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 70-75.

GUILLAUD, 2008 : Guillaud, Hubert. "Characterization of earthen materials". In Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 21-31.

HALDEMANN, 2005 : Haldemann, Marcia. Les nécropoles du Morbihan : nouveau acquis sur les pratiques funéraires des 6^e et 5^e siècles av. J.-C. Mémoire de licence en archéologie provinciale romaine. Université de Lausanne, Faculté des lettres, Lausanne, 2005, *non publié.*

HALLER, 1994 : Haller, Ursula. Herstellung und Anwendung von Lösungsmittel-Gelen, -Pasten und -Kompressen in der Restaurierung. Diplomarbeit am Institut für Technologie der Malerei an der Staatlichen Akademie des Bildenden Künste, Studiengang: Restaurierung und Tehcnologie von Gemälden und gefassten Skulpturen, Stuttgart, 1994.

HENDERSON, 2000 : Henderson, Julian. The science and archaeology of materials, an investigation of inorganic materials. Routledge Ed., London, 2000. Chapter 4, Ceramics, pp. 109-115, 127-135.

HIBY, 1997 : Hiby, Gudrun. "Das flüchtige Bindemittel Cyclododecan -Materialeigenschaften und Verwendung bei der Restaurierung von Gemälden und gefassten Objekten". Restauro, 103/2, 1997, p. 96-103.

HODGES, 1987 : Hodges, Henry W.M. "The conservation treatment of ceramics in the field". In Hodges, Henry W.M. (Ed.). In situ archaeological conservation. Proceeding of meetings, April 6-13, 1986, Mexico. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1987, pp. 144-148.

HORIE, 2000 : Horie, C.V. Materials for conservation, organic consolidants, adhesives and coatings. 1st edition 1987. Butterworth Heinemann Ed., London, 2000.

- JORNET, 2007** : Jornet, Albert. Prodotti ceramici : aspetti tecnologici. Corso DADC 018: Ceramica: testimonianza culturale, Lugano-Trevano, 2007. *Non publié*.
- KHANDEKAR, 2004** : Khandekar, Narayan. Research into potential problems arising from the use of aqueous cleaning systems. *In* Solvent gels for the cleaning of works of arts. Dorge Valerie Ed., The Getty Conservatio Institute, Los Angeles, 2004. Chapter 2, pp. 12-17.
- KILCHHOFER UND SCHERRER, 2008** : Kilchhofer, M. und Scherrer, N.C. "Konservierung von Malereien auf Lehmputzen". Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 2/2008, Heft 2. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 2008, pp. 343-354.
- KÜPFER UND MAGETTI, 1978** : Küpfer, Theo und Magetti, Marino. "Die Terra Sigillata von La Péniche (Vidy/Lausanne)". *In* Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 58, 1978, p. 189-212.
- LAZZARINI E LAURENZI TABASSO, 1989** : Lazzarini, Lorenzo e Laurenzi Tabasso, Marisa. Il restauro della pietra. CEDAM, Padova, 1989.
- MAGETTI UND KAHR, 1981** : Magetti, Marino und Kahr, Günter. "Homogenität archäologischer keramischer Objekte – TeilI. Porosität und Porenradienverteilung". *In* Sonderdruck aus Archäologie und Naturwissenschaften 2. Römisch-germanisches Zentralmuseum – Forschungsinstitut für Vor- und Frühgeschichte, Mainz, 1981.
- MARDAGA, 2001** : Mardaga, Pierre éd. Préserver les objets de son patrimoine, précis de conservation préventive. Mardaga, Sfiic, Sprimont, 2001.
- MEYER ET AL., 1984** : Meyer, Ch. *et al.* "Bertäge zum Geologie des Schweiz". *In* Geotechnikum Serie 63, 1984.
- MEYER ET RELIER, 1988** : Meyer, Nicole et Relier, Caroline (Coord.). Conservation des sites et du mobilier archéologiques, Principes et méthodes. UNESCO, Etudes et documents sur le patrimoine culturel, Paris, 1988. Chapitre 3, Note sur la consolidation des pierres polychromes, pp. 34-36.
- MOINAT ET DAVID-ELBIALI, 2003** : Moinat, Patrick et David-Elbiali, Mireille. Défunts, bûchers et céramiques : la nécropole de Lausanne-Vidy (VD) et les pratiques funéraires sur le Plateau suisse du XI^e au VIII^e s. av. J.-C. Cahiers d'archéologie romande, Lausanne, 2003.
- MORRIS, 1994** : Morris, Timothy C. "Hard-surface Cleaners". *In* Lange, K. Robert (Ed.). Detergents and cleaners, a handbook for formulators. Hanser, Munich, 1994. Chapter 7, pp. 165-175.
- OETER, 1991** : Oeter, Martina. Reinigung von Wandmalerei und Objekten aus Stein mit Ionenaustauscherharz. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln, 1991, *non publié*.

- OLIVER, 2008** : Oliver, Anne. "Conservation of nondecorated earthen materials". *In* Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 108-123.
- ORTON ET AL., 1997** : Orton, Clive. *et al.* Pottery in archaeology. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. Chapter 5, Fabric analysis, pp. 67-75. Chapter 11, Pottery Fabrics, pp. 132-151.
- PERNET, 2006** : Pernet, Lionel *et al.* La necropoli di Giubiasco (TI), Vol.II, Les tombes des La Tène finale et d'époque romaine. Musée National Suisse, 2006, Zürich.
- PIGNAL, 2008** : Pignal, Bruno. Terre crue, techniques de construction et de restauration. Ed. Au pied du Mur, Paris, 2008, p. 14-15.
- RAINER, 2008** : Rainer, Leslie. "Conservation of decorated earthen surfaces". *In* Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 124-141.
- RHODES, 1999** : Rhodes, Daniel. Terres et glaçures, les techniques de l'émaillage. Ed. Dessain et Tolra, Turin, 1999. Chapitre 3, Nature physique de l'argile, pp. 16-19.
- RIEDL UND HILBERT, 1998** : Riedl, Nicole und Hilbert, Georg. "Cyclododecan im Putzgefüge – Materialeigenschaften und Konsequenzen für die Anwendung in der Restaurierung – Materialeigenschaften und Konsequenzen für die Anwendung in der Restaurierung". Restauro 104/7, 1998, pp. 494-499.
- RONC, 2008** : Ronc, Maria Cristina (coord.). Agli Dei Mani, Da una necropoli di Augusta Praetoria. Aspetti del rituale funerario. MAR – Museo archeologico regionale d'Aosta, Quart, 2008.
- SINGLEY, 1988** : Singley, Katherine. The conservation of archaeological artifacts from freshwater environments. Association of Great Lakes Maritime History, Lake Michigan Maritime Museum, South Haven, Michigan, 1988.
- SLATON AND NORMANDIN, 2005** : Slaton, Deborah and Normandin, Kyle C. Masonry Cleaning Technologies. *In* Cleaning Techniques in Conservation Practice. Donhead Ed. Shaftesbury, 2005, pp. 7-29.
- STANCLIFFE ET AL., 2005** : Stancliffe, Martin *et al.* St Paul's Cathedral. *In* Cleaning Techniques in Conservation Practice. Donhead Ed. Shaftesbury, 2005, pp. 87-103.
- STULIK AND WOLBERS, 2004** : Stulik, Dusan and Wolbers, Richard. "Project outcome, spin-offs, and future research needs". *In* Solvent gels for the cleaning of works of arts. Dorge Valerie Ed., The Getty Conservatio Institute, Los Angeles, 2004. Chapter 7, pp. 131-145.

TISSIER, 2007 : Tissier, Frédérique-Sophie. Le cyclododécane en archéologie : tests et applications pratiques. Master II Conservation Restauration des Biens Culturels, Objets Archéologiques, Université de Paris1 Panthéon-Sorbonne, U.F.R 03 Histoire de l'Art et Archéologie, Paris, 2007, *non publié*.

VELDE, 2000 : Velde, Bruce. "Identification des sources de l'argile dans les céramiques". In Dossiers d'archéologie. Archéométrie, les sciences appliquées à l'archéologie, 2000, n°253, pp. 24-29.

VELDE, 2008A : Velde, Bruce. " Clay Minerals". In Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008.

VELDE, 2008B : Velde, Bruce. "Geology of clays and earthen materials". In Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 8-14.

WAGNER, 1998 : Wagner, Wolf-Dieter. "Reinigung mit dem Nd:YAG-Laser – Funktionprinzip". Restauro 6/1998, p. 382.

WARREN, 1999 : Warren, John. Conservation of Earth structures. Butterworth-Heinemann Ed., Oxford, 1999. Chapter 2, Constituent materials, pp. 40-60.

WOLBERS, 2000 : Wolbers, Richard. Cleaning painted surfaces, aqueous methods. Archetypes publications, London, 2000.

Sites internet :

PSA PROPERTY ENHANCER, 2008 : Article tools, PSA Property Enhancer, http://www.adhesivesmag.com/Articles/Feature_Article/BNP_GUID_9-5-2006_A_1000000000000406208, consulté le 15 juillet 2010.

SITE DE ARTEMUNDIT, 2010 (EN LIGNE) : Arte Mundit®, <http://www.artemundit.com/artemundit.asp>, consulté le 13 juillet 2010.

LISTE DES FIGURES ET SCHEMAS

Toutes les images sont de Laura Andrey ©HECR Arc, sauf mention contraire.

Fig. 1 : En-haut, les tétraèdres de silice ; en bas, les octaèdres d'alumine (Jornet, 2007, p.8).....	8
Fig. 2 : Disposition en feuillets des tétraèdres de silice et des octaèdres d'alumine. 1. Kaolinite ; 2. Illite ; 3. Montmorillonite. (Berducou, 1990, p.81).....	9
Fig. 3 : Phases et températures de la cuisson des céramiques (Jornet, 2007, p.18).....	12
Fig. 4 : Couleur des pâtes céramiques selon le mode de cuisson. A. Céramique épaisse; B. Céramique fine. En clair, cuisson oxydante; en grisé, cuisson réductrice (Orton <i>et al.</i> , 1997, p.134).	12
Fig. 5 : Types de fours: 1. four ouvert; 2. et 3. Fours à chambre séparée ; 4. Four à moufle (Jornet, 2007, p.21).....	13
Fig. 6 : Evolution de l'altération dans la vie d'un objet archéologique (Bergeron, 1991, p.8).....	14
Fig. 7 : Types de tombe à incinération (Moinat et David-Elbiali, 2003, p.176)	17
Fig. 8 : Situation géographique du village de Tremona (© search.ch, TeleAtlas, swisstopo dv074190)....	18
Fig. 9 : Situation des fouilles dans le village de Tremona (De Micheli-schultess, 2008, p.424).....	19
Fig. 10 : Tombes à incinération découvertes en 2007 à Tremona (©UBC).....	20
Fig. 11 : Tombe 31 mise au jour (© UBC).....	20
Fig. 12 : Mobilier trouvé dans la tombe 31 (©UBC).....	20
Fig. 13 : Pyxide avant traitement.....	23
Fig. 14 : Tranche d'un tesson de la pyxide	23
Fig. 15 : Pot avant traitement	24
Fig. 16 : Schéma d'un pot à lèvres rentrantes (Berger, 1999, p.71)	24
Fig. 17 : Tranche d'un tesson du pot	25
Fig. 18 : Coupelle avant traitement.....	26
Fig. 19 : Schéma d'une céramique similaire (Pernet, 2006, p.210).....	26
Fig. 20 : Tranche d'un tesson de la coupe	26
Fig. 21 : Vase <i>a trottola</i> avant traitement.....	28
Fig. 22 : Types de vases <i>a trottola</i> (Pernet, 2006, p.224).....	28
Fig. 23 : Tranche d'un tesson du vase <i>a trottola</i>	29
Fig. 24 : Airbrush (Bruhin, 2008, p.137).....	36
Fig. 25 et Fig. 26 : Rep.27-061 fine avant (à gauche) et après nettoyage	
Fig. 27 : Erosion de la céramique.....	46
Fig. 28 : De gauche à droite : tesson avant, pendant et après nettoyage par abrasion d'adhésif. Restes d'adhésif dans les parties creuses.	47
Fig. 29 : Phases de peeling par pelage de film adhésif. De gauche à droite : tesson avant traitement ; application de l'adhésif ; terre retirée avec le film d'adhésif ; la surface de la céramique est également arrachée par le film adhésif.	49
Fig. 30 : Produits mélangés avec les épaississants	49

Fig. 31 : Humidification des éprouvettes en terre cuite	
Fig. 32 : Application des la terre sur les éprouvettes	52
Fig. 33 : Application des produits avec de la pulpe de cellulose sur du papier japon	52
Fig. 34 : A droite, la céramique a été attaquée par l'acide.....	57
Fig. 35 : Présence d'un voile de terre et d'un voile	
Fig. 36 : Présence d'un voile de terre assez important après	57
Fig. 37 : Eprouvettes de terre cuite après les tests de nettoyage.....	58
Fig. 38 : Nettoyage du tesson 2 par consolidation et dissolution de Paraloid®B72. A gauche : côté gauche pré-consolidé. Au centre, consolidé : présence de revêtement argileux (taches rouges). A droite, non consolidé : céramique érodée par le pinceau.	61
Fig. 39 : A gauche, tesson avant traitement ; au centre, tesson après nettoyage ; à droite, sublimation du CDD, côté gauche consolidé, côté droit non consolidé après nettoyage au pinceau (traces de pinceau visibles).....	61
Fig. 40 : De gauche à droite : tesson avant traitement ; dissolution partielle du CDD avec l'acétate d'éthyle ; tesson après nettoyage (côté gauche non consolidé, côté droit consolidé)	62
Fig. 41 : Les moisissures se développent davantage sur le côté non consolidé.....	66
Fig. 42 : Tesson avant (à gauche) et après nettoyage au pinceau-brosse doux et à l'eau déminéralisée..	66
Fig. 43 : Tesson gauche nettoyé à l'airbrush, à droite au pinceau.....	66
Fig. 44 : Traces éventuelles de peinture rouge.....	67
Fig. 45 : Le remontage a été effectué en deux parties (gauche et centre) ; à droite, vase <i>a trottola</i> après traitement.	68
Fig. 46 : Le remontage s'est effectué dans un bac	
Fig. 47 : Coupe après traitement	69
Fig. 48 : A gauche, tesson non nettoyé ; à droite,	
Fig. 49 : Tessons du pot en l'état actuel	70
Fig. 50 : Tesson de la pyxide avant traitement	
Fig. 51 : Tesson après nettoyage	71
Fig. 52 : Craquelures rougâtres sur la	
Fig. 53 : Pyxide en l'état actuel	71
Fig. 54 : Conditionnement pour les quatre céramiques	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description et constat d'état du pyxide (Rep.5).....	23
Tableau 2 : Description et constat d'état du petit pot modelé à la main (Rep.11)	24
Tableau 3 : Description et constat d'état de la coupelle en céramique commune (Rep.12)	26
Tableau 4 : Constat d'état du vase <i>a trottola</i> (Rep.14).....	28
Tableau 5 : Résultats des tests de nettoyage de tessons de céramiques avec l'airbrush.....	45
Tableau 6 : Résultats des tests de colles pour le peeling	48



Tableau 7 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'acide acétique	53
Tableau 8 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'acide citrique	53
Tableau 9 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec le bicarbonate de sodium	54
Tableau 10 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec le bicarbonate d'ammonium.....	54
Tableau 11 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'EDTA.....	55
Tableau 12 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec le Calgon®	55
Tableau 13 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'AB 57	56
Tableau 14 : Résultats des tests de nettoyage par concentration et durée d'application avec l'échangeur d'ions.....	56
Tableau 15 : Résultats de nettoyage avec le bicarbonate de sodium sur les céramiques archéologiques.	63
Tableau 16 : Résultats de nettoyage avec le bicarbonate d'ammonium sur les céramiques archéologiques	64
Tableau 17 : Résultats de nettoyage avec l'échangeur d'ions sur les céramiques archéologiques.....	64
Tableau 18 : Résultats de nettoyage des bicarbonates de sodium et d'ammonium sur la céramique grossière (Rep.11) et la céramique fine (Rep.12)	65

LISTE DES APPENDICES

Annexe I : Examens et analyse scientifiques, tests d'identification

1. Tests concernant la terre argileuse
 - 1.1. Objectifs
 - 1.2. pH et test de l'acide
 - 1.2.1. Mesure du pH
 - 1.2.2. Test de l'acide
 - 1.3. Test de granulométrie
 - 1.3.1. Tamisage sec
 - 1.3.2. Tamisage humide
 - 1.3.3. Décantation
 - 1.3.4. Masse volumique
 - 1.3.5. Résultat granulométrique
 - 1.4. Test de cuisson
2. Analyses
 - 2.1. Microscopie (observation de lames minces)
 - 2.1.1. Principe

- 2.1.2. Objectif
- 2.1.3. Résultats
- 2.2. Diffraction des rayons X (DRX/XRD)
 - 2.2.1. Principe
 - 2.2.2. Objectif
 - 2.2.3. Résultats
- 2.3. Spectrométrie infrarouge (FTIR)
 - 2.3.1. Principe
 - 2.3.2. Objectif
 - 2.3.3. Résultats

Appendice II : Tableaux des propriétés

1. Cyclododécane
2. Paraloid® B72
3. Plextol® B500
4. Primal® WS24
5. Alcool polyvinylique (Mowiol® 4-98)
6. Klucel® G
7. Tylose® MH2000
8. Echangeur d'ions Amberlite® IR 120H
9. Carbopol®
10. Aérosil®

Appendice III : Tests de compatibilité des cataplasmes avec les produits chimiques

Appendice IV : Tests de compatibilité des consolidants avec les produits chimiques

Appendice V : Photos des résultats des premiers tests de nettoyage sur les céramiques

Appendice VI : Photos des résultats des seconds tests de nettoyage sur les céramiques

Appendice VII : Bibliographie générale

Appendice VIII : Répertoire

1. Liste des produits / matériaux
2. Liste des fournisseurs
3. Liste des laboratoires et institutions consultés
4. Liste des figures
5. Liste des tableaux

**Conservation de céramiques archéologiques peu cohésives
recouvertes de dépôt argileux**

Consolidation préalable éventuelle suivie d'un nettoyage mécanique et/ou
chimique à l'aide de cataplasmes

APPENDICE

Laura Andrey

Pour l'obtention du
Master of Arts HES-SO en Conservation-Restauration
Orientation objets archéologiques et ethnographiques

Année 2009-2010

13 août 2010

Sommaire

Appendice I : Examens et analyse scientifiques, tests d'identification	1
1. Tests concernant la terre argileuse	1
1.1. Objectifs.....	1
1.2. pH et test de l'acide	1
1.2.1. Mesure du pH.....	1
1.2.2. Test de l'acide	1
1.3. Test de granulométrie	2
1.3.1. Tamisage à sec.....	2
1.3.2. Tamisage humide.....	2
1.3.3. Décantation.....	2
1.3.4. Masse volumique	3
1.3.5. Résultat granulométrique.....	4
1.4. Test de cuisson	5
2. Analyses.....	6
2.1. Microscopie (observation de lames minces)	6
2.1.1. Principe.....	6
2.1.2. Objectif	6
2.1.3. Résultats	7
2.2. Diffraction des rayons X (DRX/XRD).....	9
2.2.1. Principe.....	9
2.2.2. Objectif	9
2.2.3. Résultats	11
2.3. Spectrométrie infrarouge (FTIR).....	17
2.3.1. Principe.....	17
2.3.2. Objectif	17
2.3.3. Résultats	18
Appendice II : Tableaux des propriétés	29
1. Cyclododécane	29
2. Paraloid® B72	29

3. Plextol® B500.....	29
4. Primal® WS24	30
5. Alcool polyvinylique (Mowiol® 4-98)	30
6. Klucel® G.....	30
7. Tylose® MH2000	31
8. Echangeur d'ions Amberlite® IR 120H	31
9. Carbopol®.....	31
10. Aérosil®	32
Appendice III : Tests de compatibilité des cataplasmes avec les produits chimiques	33
Appendice IV : Tests de compatibilité des consolidants avec les produits chimiques.....	35
Appendice V : Photos des résultats des premiers tests de nettoyage sur les céramiques	37
Appendice VI : Photos des résultats des seconds tests de nettoyage sur les céramiques	39
Appendice VII : Bibliographie générale consultée.....	41
Appendice VIII : Répertoire	53
1. Liste des produits / matériaux	53
2. Liste des fournisseurs	55
3. Liste des laboratoires et institutions consultés.....	56
4. Liste des figures	57
5. Liste des tableaux	59

APPENDICE I : EXAMENS ET ANALYSE SCIENTIFIQUES, TESTS D'IDENTIFICATION

1. TESTS CONCERNANT LA TERRE ARGILEUSE

1.1. Objectifs

Nous avons effectué quelques tests simples sur la terre d'enfouissement afin d'obtenir des informations de base pour pouvoir avancer dans nos recherches, en attendant d'obtenir les résultats d'analyses XRD et en microscopie. Ces tests nous permettent également de mieux comprendre l'état d'altération des céramiques (pourquoi la terre est aussi accrochée à leur surface et si elle est potentiellement agressive par son éventuelle acidité).

1.2. pH et test de l'acide

1.2.1. Mesure du pH

Nous avons mesuré, à l'aide d'un pHmètre, le pH de la terre provenant de la tombe pour savoir s'il pouvait avoir une influence sur les céramiques. Le pH de l'eau déminéralisée seule a d'abord été mesuré, puis la celui de la terre diluée dans la même eau déminéralisée. Nous avons obtenu les valeurs suivantes :

Tableau 1 : Acidité de la terre

pH eau déminéralisée	pH terre et eau déminéralisée
5.72	8.73

La terre est légèrement basique.

1.2.2. Test de l'acide

Nous avons effectué un test simple pour connaître la présence d'inclusions calcaires dans la terre de la tombe. Nous avons appliqué quelques gouttes d'une solution d'acide chlorhydrique (HCl) à 10% sur un échantillon de terre (environ 5g).¹ Nous avons observé une réaction d'effervescences due au dégagement de gaz carbonique lors de la dissolution du calcaire. La présence des particules de calcaire est relativement faible, par rapport à la quantité de terre (fig.1).



Fig. 1 : Effervescence des parties calcaires de la terre

¹ GIBSON AND WOODS, 1997, p.20 ; GUILLAUD, 2008, p.27.

1.3. Test de granulométrie

Le test de granulométrie nous permet de connaître la taille des particules constituant la terre. Nous l'avons effectué pour pouvoir confirmer ou infirmer que la terre est composée d'argile, ce qui expliquerait la forte adhésion de la terre sur les céramiques. L'argile est le granulat dont les particules sont les plus fines (fig.2).

Éléments inactifs (ne réagissant pas ou très peu à l'eau)	Éléments actifs (réagissant à l'eau)
Cailloux : entre 200 et 20 mm	Argiles : inférieure à 2 microns
Graviers : entre 20 et 2 mm	
Sables : entre 2 mm et 0,06 mm	
Silt* : entre 0,06 mm et 0,002 mm (2 microns)	

* Sédiment meuble d'une très grande finesse.

Fig. 2 : Classement des granulats

1.3.1. Tamisage à sec

La terre sèche est passée dans différents tamis, allant de la plus grosse maille (180 mm) à la plus fine (0.5 mm). La terre qui a traversé le dernier tamis de 0.5 mm est passée au tamisage humide.

1.3.2. Tamisage humide

Le tamisage humide permet de tamiser des particules plus petites que 0.5 mm. Les différents tamis superposés sont mouillés depuis le haut et secoués par une machine. Les particules les plus fines ont une taille de moins de 0.063 mm (63 microns).

1.3.3. Décantation

La décantation permet de séparer les particules dans un volume d'eau précis. Les particules les plus lourdes sont celles qui se déposeront en premier, les plus légères resteront plus longtemps en suspension². Avec un schéma précis, nous pouvons évaluer la quantité des différentes particules présentes dans la terre grâce à un aréomètre (ou hydromètre). Cet appareil sert à mesurer la densité de l'eau ; au fur et à mesure que les particules se déposent, la densité de l'eau diminue. Les particules plus fines se déposent plus lentement que les plus grosses ; il est alors nécessaire de pouvoir effectuer ces mesures sur plusieurs jours et à des moments bien précis (fig.3).

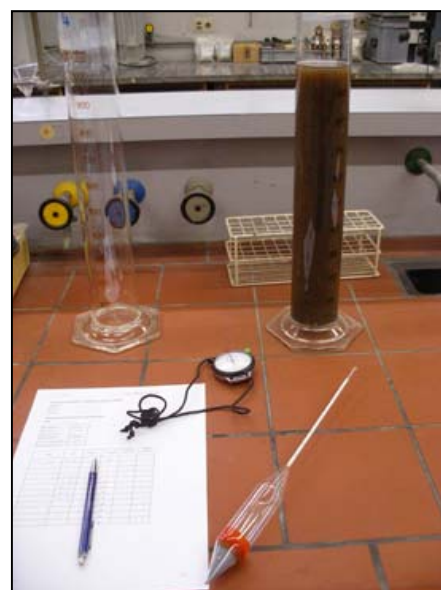


Fig. 3 : Aréomètre servant à mesurer la densité de l'eau terreuse

² VELDE, 2008A, p.3.

Pour faire les mesures avec l'aréomètre³, nous avons prélevé 50g de terre que nous avons placé dans un cylindre d'un litre. Pour faciliter la séparation des particules entre elles, nous avons utilisé un défloculant, du polyphosphate de sodium à 3% dans de l'eau déminéralisée⁴. De cette solution, nous en avons versé 15ml dans le cylindre. Le reste du cylindre a été rempli à l'eau déminéralisée jusqu'à obtenir 1l⁵. Le mélange a ensuite été agité de manière à laisser les particules se déposer naturellement, et l'aréomètre est tout de suite immergé. Les mesures sont faites à des horaires précis. Les mesures prises sur l'aréomètre et les grammes mesurés sur les différents tamis permettent, à l'aide d'échelle, d'obtenir une courbe granulométrique (point 1.3.5).⁶

1.3.4. Masse volumique

Pour obtenir une courbe granulométrique, il est nécessaire d'avoir la masse volumique de la terre. La terre est réduite en poudre au mortier et est placée dans un pycnomètre (récipient en verre de 160 ml avec bouchon en verre). Celui-ci est rempli d'eau à ras-bord et ensuite pesé⁷. Ce poids est comparé avec ce même pycnomètre rempli uniquement d'eau. Un calcul est effectué pour obtenir la masse volumique :

$$\frac{M_1 \times \rho_w}{M_1 + M_2 - M_3} \text{ où :}$$

M_1 = masse échantillon de terre M_2 = pycnomètre + eau

M_3 = masse du pycnomètre + échantillon de terre + eau

ρ_w = masse volumique de l'eau (tab. 1)

Rapport-gratuit.com 
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES

Tableau 2 : Masse volumique de l'eau en rapport avec sa température

T [°C]	4	10	20	25	30
ρ_w [kg/dm ³]	1.000	0.999	0.998	0.997	0.996

³ Appareil de mesure servant à mesurer la densité du vin, il est également utilisé, dans notre cas, pour mesurer la densité d'une eau argileuse, et par conséquent connaître la taille des particules présentes dans l'eau.

⁴ Guillaud fait mention de l'utilisation d'un agent dispersant (méthaphosphate de sodium) et de l'eau déionisée pour effectuer le test de la "répartition des particules par taille". GUILLAUD, 2008, p.22.

⁵ Une seconde décantation a été testée avec du chlorure de calcium (CaCl) comme défloculant avec les mêmes conditions présentées à la première décantation, mais la déposition des particules s'est avérée trop rapide pour effectuer des mesures. (ce défloculant sépare moins facilement les particules entre elles)

⁶ GUILLAUD, 2008, p.23.

⁷ Le pycnomètre est également soumis à un vide d'air pour éliminer toutes les bulles d'air présentes dans l'eau ou dans la terre.

1.3.5. Résultat granulométrique

Scuola Universitaria Professionale
della Svizzera Italiana

Dipartimento
Ambiente
Costruzioni e
Design

**Istituto
Materiali e
Costruzioni**

SUPSI

Analisi granulometrica

Certificato di prova TE01A

Incarto no. :

Committente :

Oggetto :

Parte d'opera : Terra di Tremona T31

Data prelievo : --/--

Norme applicate : VSS 670810c - VSS 670816a

Operatore : E.P

Prova no. : 1

Inizio prova : 8.3.2010

Lab no. :

	passante in % massa					
decantaz. (mm)	0.002	0.006	0.02	0.063		# 0.063
setacci (# mm)	# 0.25	# 0.5	# 2	# 8	# 16	# 63
	84.1	90.7	98.1	100.0	100.0	100.0

Diametro dei grani [µm] ← | → Apertura setacci [# mm]

Canobbio, 11.3.2010
Istituto Materiali e Costruzioni

I risultati riportati nel presente certificato di prova si riferiscono unicamente ai campioni esaminati.
 Ogni riproduzione parziale del certificato di prova necessita dell'autorizzazione scritta dell'IMC.

6952 Canobbio
Copie de Copia di TE01AC / v1.3
Telefono 058 666 63 61
Telefax 058 666 63 59
E-mail imc@supsi.ch
pagina 1(2)

Nous observons que la terre est composée d'une part d'argile, ce qui la rend très plastique et boueuse lorsqu'elle est humide, et dure et retirée lorsqu'elle est sèche.

1.4. Test de cuisson

Etant donné la fragilité des céramiques, nous avons supposé qu'elles ont été, lors de leur fabrication, cuites à une température insuffisante. Puisque nous avons à disposition de la terre argileuse provenant de la tombe, nous avons fait des essais de cuisson de cette argile, pour tenter d'estimer la température de cuisson des céramiques. Sachant que 600°C est la température minimale pour la cuisson d'une céramique⁸, nous avons décidé de cuire la terre à trois températures : 700°C, 800°C et 900°C. Nous n'avons pas dépassé la température de 900°C car elles ne sont généralement pas cuites au-delà de 1000°C⁹.

Nous avons cuit les trois éprouvettes, moulées dans des supports prévus à cet effet (fig.4), pour avoir les mêmes conditions dès le départ et ainsi obtenir des résultats représentatifs. Avant de les cuire, nous les avons fait sécher dans un four à 100°C pour retirer l'eau libre¹⁰. Les éprouvettes ont été cuites séparément, de manière à augmenter la température progressivement et une fois le palier atteint, nous les avons laissées cuire pendant une heure (fig.5 et 6)¹¹. Après une heure de cuisson à la température désirée, nous avons laissé refroidir le four.

Après la cuisson des trois éprouvettes, nous avons remarqué qu'elles étaient toutes les trois fissurées. Plus la température de cuisson était élevée, plus les fissures étaient importantes, probablement dû au manque de dégraissant (fig.7)¹². Nous avons testé la cohésion des éprouvettes cuites au moyen d'un scalpel. La différence entre les trois cuissons est difficile à évaluer, mais l'éprouvette cuite à 700°C semble tout de même plus tendre que les deux autres.



Fig. 4 : Moulage de la terre d'enfouissement

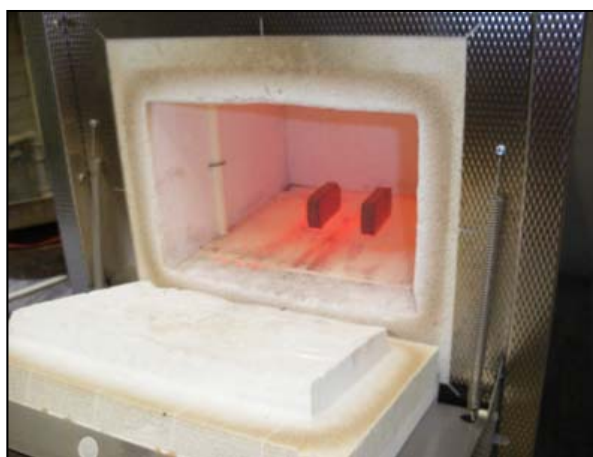


Fig. 5 : Cuisson des éprouvettes de terre

⁸ GIANNICHEDDA E VOLANTE, P.9; HENDERSON, 2000, P.135; VELDE, 2008B, P.9.

⁹ HENDERSON, 2000, P.130-131.

¹⁰ CRONYN, 1990, P.143 ; BERDUCOU, 1991, P.85, VELDE, 2008A, P.2.

¹¹ KÜPFER UND MAGETTI, 1978, P.208.

¹² BERDUCOU, 1991, P.83.



Fig. 6 : Retrait des éprouvettes après cuisson

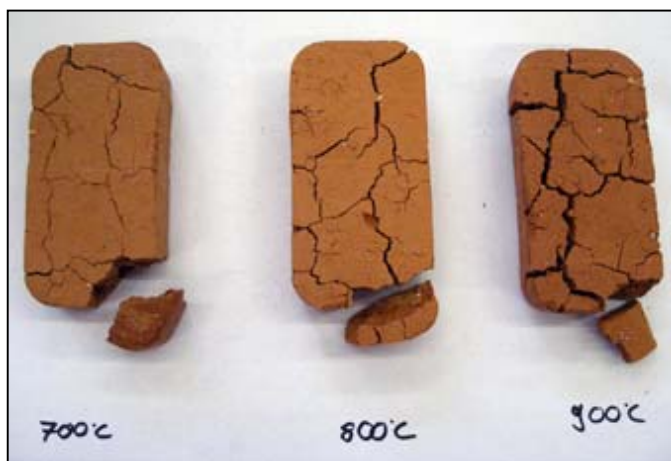


Fig. 7 : Eprouvettes cuites à 700°C, 800°C et 900°C

2. ANALYSES

2.1. Microscopie (observation de lames minces)

2.1.1. Principe

L'observation de lame mince consiste à découper une fine tranche (de l'ordre du micron) d'un matériau solide, ensuite déposée sur un porte-objet, pour pouvoir observer ce matériau sous microscope. Dans le cas de matériaux inorganiques, comme les céramiques, l'observation se fait sous microscope polarisant qui permet d'identifier, par la polarisation, les différents minéraux présents. Dans ce cas, des filtres polarisants filtrent la lumière qui se divise en deux rayons dans les matériaux anisotropes¹³. C'est en observant l'interaction de ces deux rayons lorsqu'ils se réunissent à nouveau en sortant du matériau, que l'on peut identifier les minéraux. La réfraction de la lumière change selon la direction du rayon lumineux ; un plateau tournant permet alors de faire varier la réfraction. Chaque minéral apparaît de manière bien spécifique sous le microscope polarisant¹⁴.

2.1.2. Objectif

Nous avons effectué cette observation pour connaître la composition des céramiques et pouvoir identifier les minéraux présents. La disposition et la taille des minéraux, ainsi que l'estimation du pourcentage de porosité des céramiques peuvent nous informer sur les techniques de fabrication (décantage, tournage, cuisson)¹⁵.


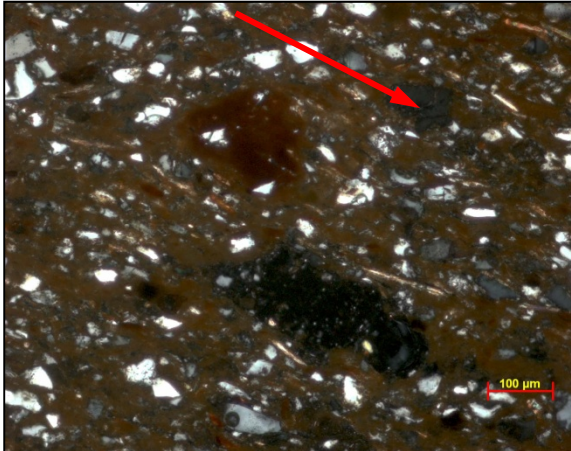

¹³ Un matériaux anisotrope est un matériau dont les propriétés ne sont pas les mêmes dans tous les sens de l'espace.

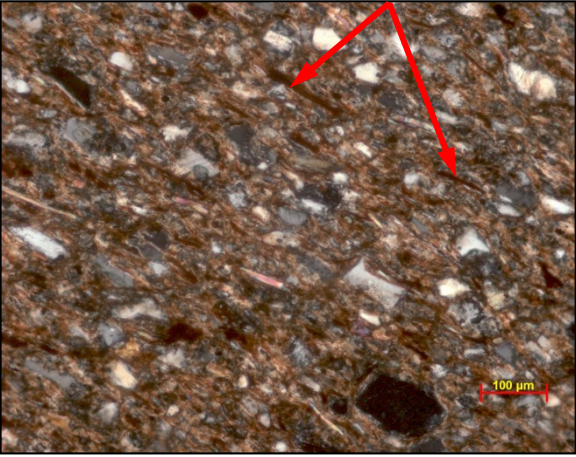
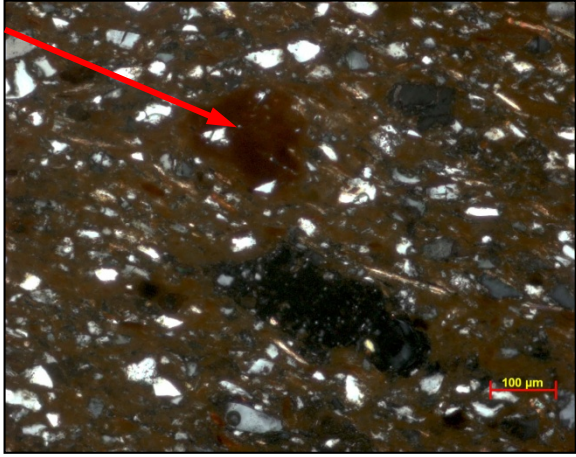
¹⁴ STUART, 2007, p. 82.

¹⁵ STUART, 2007, p.87.

2.1.3. Résultats

Tableau 3 : Identification des minéraux sous microscope polarisant (avec polarisateurs croisés)

Type de minéral	Description	Illustration
Quartz	Blanc, extinction ondulée	 <p>Fig. 8 : Quartz en blanc-gris</p>
Feldspath (silicates d'alumine potassique)	Blanc, extinction nette chaque 90°. Lorsqu'il est blanc, il peut se confondre avec le quartz.	 <p>Fig. 9 : Feldspath en blanc et en noir complètement</p>
Muscovite (mica)	Lamelles arc-en-ciel	 <p>Fig. 10 : Muscovite en lamelle arc-en-ciel</p>

<p>Roche métamorphique (biotite et quartz)</p>	<p>Facettes blanches et lamelles brunes</p>	<p>-</p>
<p>Plagioclases (silicate de calcaire ou de sodium : anorthite ou albite)</p>	<p>Blanc avec des traits parallèles noirs</p>	<p>-</p>
<p>Biotite (mica), souvent lié au quartz dans les roches métamorphiques</p>	<p>Lamelles brunes, visibles aussi avec seulement l'analyseur</p>	 <p>Fig. 11 : Biotite en lamelles brunes</p>
<p>Agglomérats d'argile</p>	<p>Grumeaux brun foncé</p>	 <p>Fig. 12 : Argile en grumeaux bruns</p>

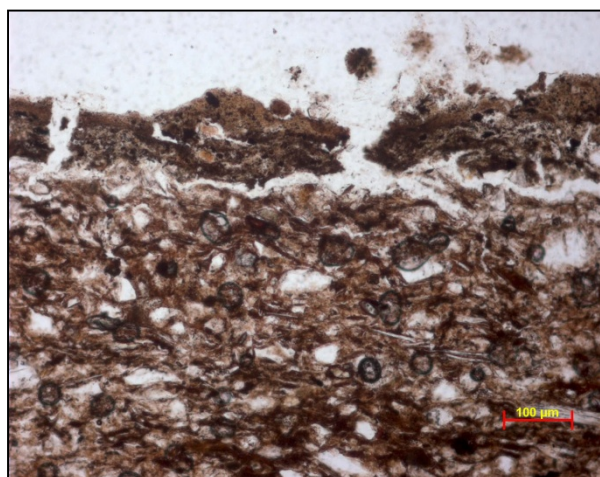


Fig. 13 : Présence de terre (en-haut) sur la surface de la céramique (microscope avec un seul polarisateur)

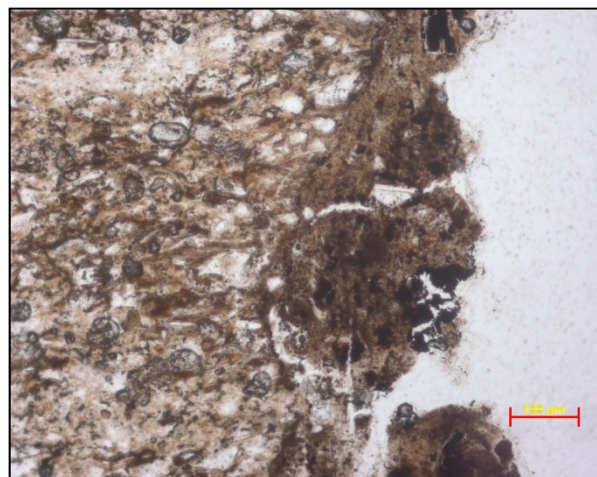


Fig. 14 : Présence de terre (à droite) sur la tranche (microscope avec un seul polarisateur)

2.2. Diffraction des rayons X (DRX/XRD)

2.2.1. Principe

La diffraction des rayons X détermine l'arrangement des atomes dans les matériaux solides. Le rayon projeté va pénétrer dans la matière pour atteindre les espaces entre les différents plans d'atomes. Ce sont les espaces inter-atomiques qui vont renvoyer les rayons X en les diffractant plus ou moins fortement (l'angle du rayon diffracté correspond à un matériau spécifique. Les rayons diffractés sont captés par une caméra à rayons X ou par un diffractomètre et vont "dessiner" des traits sur le capteur, ce qui peut prendre plusieurs heures. Le résultat obtenu est ensuite comparé avec un modèle de référence et sera ainsi identifié. L'échantillon analysé doit la plupart du temps être réduit en poudre pour optimiser les résultats de la diffraction¹⁶. Cette méthode est très utilisée pour analyser les céramiques, et connaître la composition minérale des inclusions et de la matrice. Elle permet également d'obtenir des informations sur la cuisson des céramiques en détectant la présence de minéraux apparaissant à une certaine température¹⁷.

2.2.2. Objectif

Cette méthode nous permet de connaître la composition des céramiques, ainsi que de la terre. La composition des céramiques et de la terre est différente, nous pourrions nous baser sur ce point pour utiliser des méthodes chimiques touchant la terre et non les céramiques lors du traitement de nettoyage. Cette technique peut également nous indiquer des températures de cuisson selon l'absence ou la présence

¹⁶ STUART, 2007, p.230 ; CRADDOCK, 2009, p.56-57 ; FERRETTI, 1993, p.39.

¹⁷ STUART, 2007, p.233.

d'éléments (par ex. les carbonates disparaissent entre 800°C et 900°C, alors qu'un minéral, la géhlenite apparaît autour de 900°C) (fig.15).

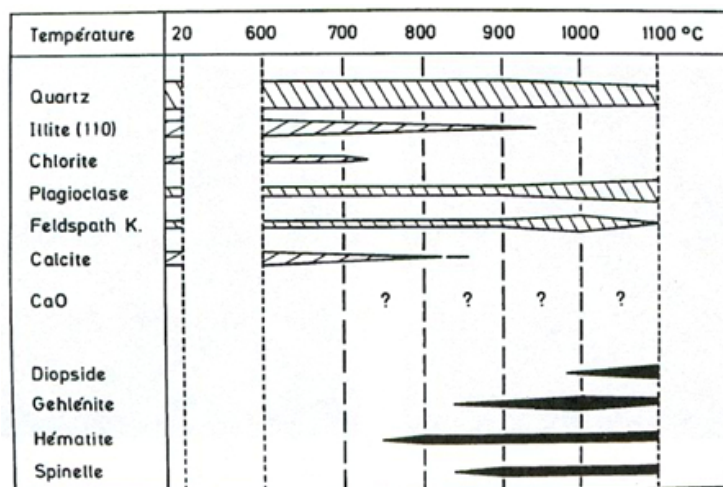


Fig. 15 : Minéraux disparaissant ou apparaissant à une certaine température

2.2.3. Résultats

Terre d'enfouissement :

Présence de quartz très abondant, de mica, d'oxydes de fer (magnétite), de feldspaths (anorthite, un plagioclase Na-Ca, mais on ne peut pas exclure la présence de feldspath alcalin Na-K), de carbonates mixtes (ankérite ou dolomite), de matières organiques (bosses du spectre)¹⁸. Il n'y a pas la présence de minéraux argileux au sens strict, car Tremona se situe dans une zone détritique avec peu d'argile (cf. dossier principal 3.2.1.) (fig.16).

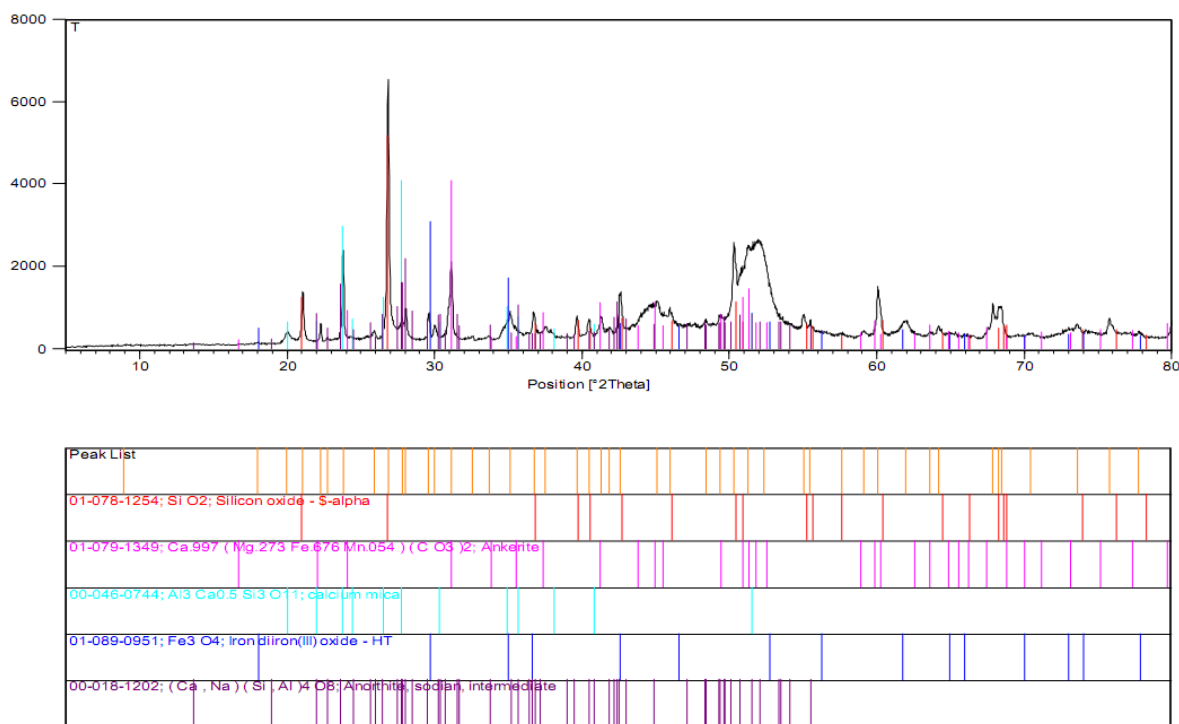


Fig. 16 : Terre d'enfouissement, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg

¹⁸ Discussion avec Vincent Serneels, professeur au Département des Géosciences à l'Université de Fribourg.

Terres cuites à 700°C et 800°C :

Présence de quartz, de magnétite (hématite transformée), de feldspaths (muscovite et anorthite). Les carbonates et les matières organiques ont disparus (fig.17 et 18).

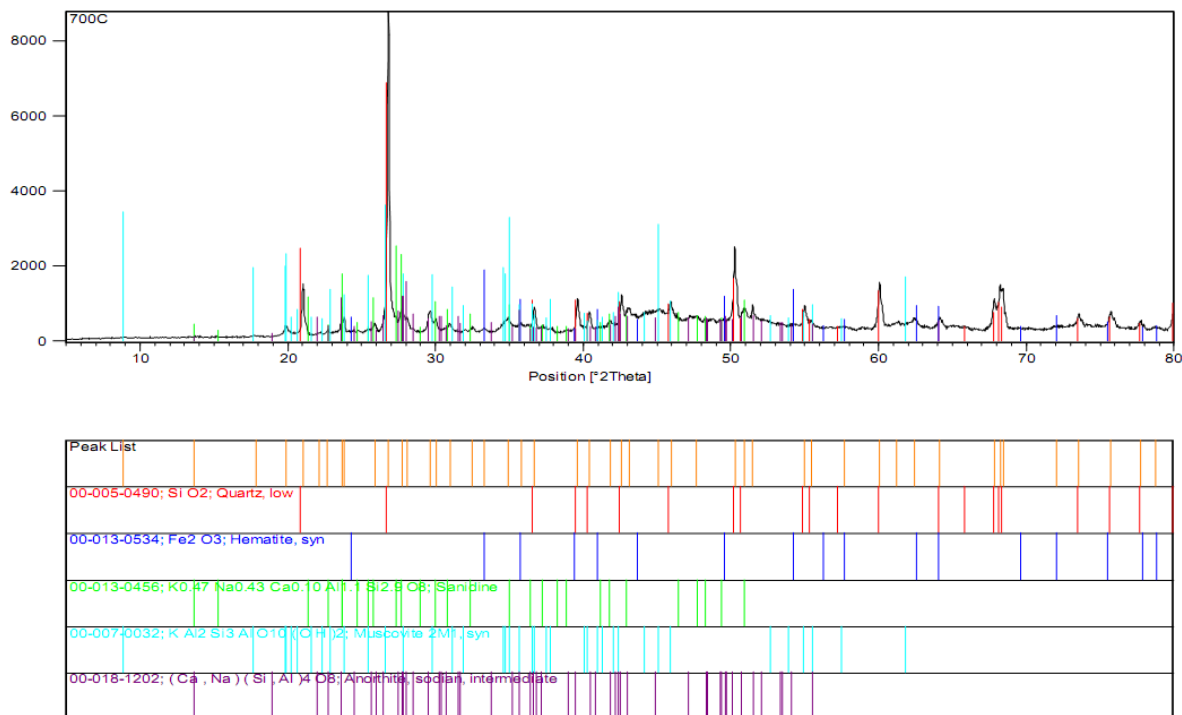


Fig. 17 : Epreuve cuite à 700°C, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg

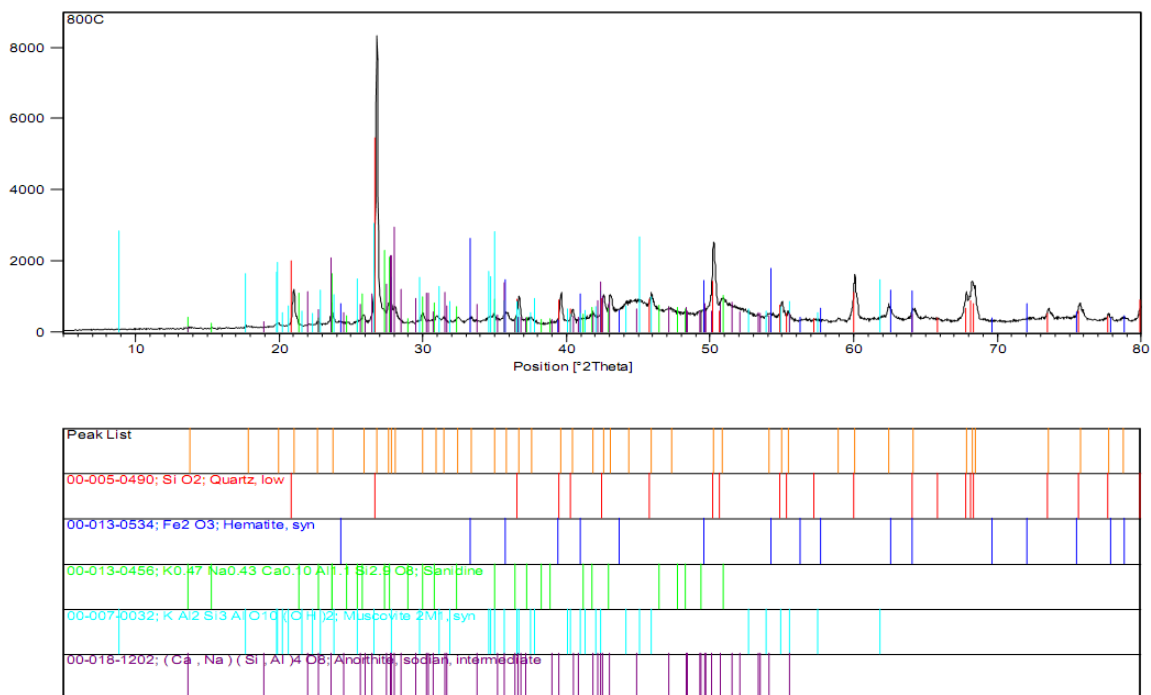


Fig. 18 : Epreuve cuite à 800°C, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg

Terre cuite à 900°C :

Présence de quartz, de magnétite (hématite transformée), de feldspaths (muscovite et anorthite). Apparition de géhlenite (minéral apparaissant à haute température), mais il n'y a qu'un seul pic qui la représente, on ne peut donc pas prendre cette information comme complètement sûre. Les carbonates et les matières organiques ont disparus (fig.19).

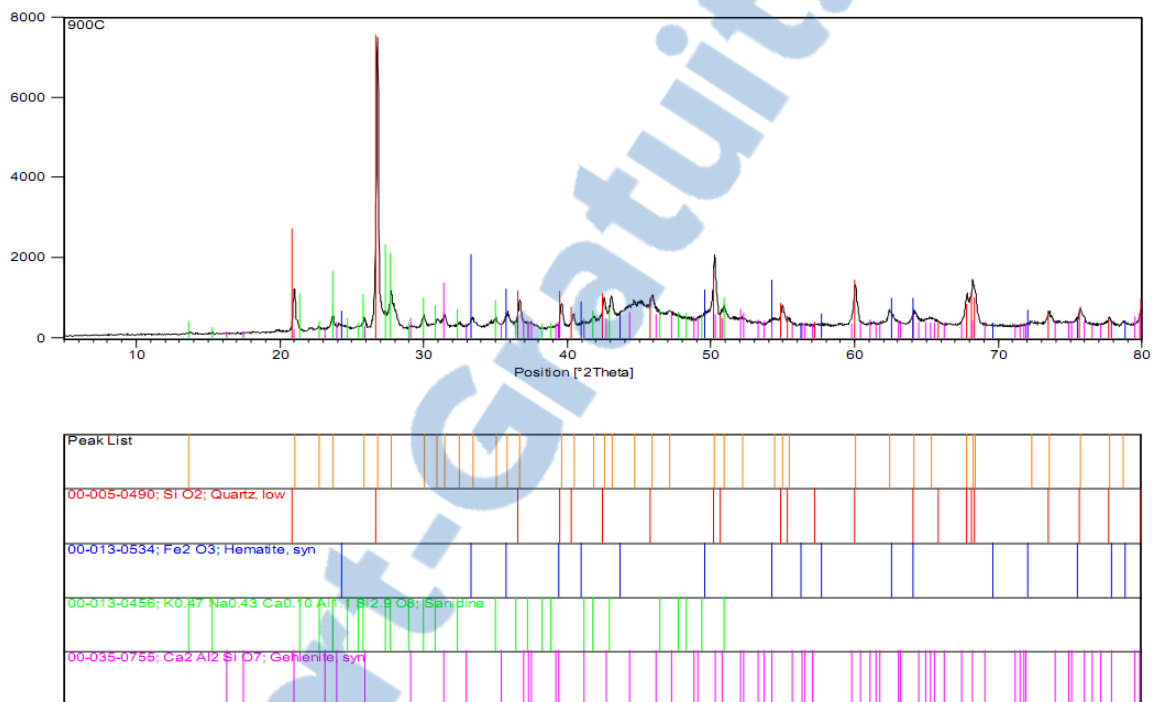


Fig. 19 : Eprouvette cuite à 900°C, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg

Pot modelé à la main (rep.11) :

Présence de quartz et de feldpaths (muscovite et anorthite). Il y a beaucoup de débris grossiers, probablement présents dans la pâte non traitée : la pâte n'a peut-être pas été décantée et le dégraissant n'a sûrement pas été sélectionné (sinon il y aurait une majorité d'un type d'inclusion, et s'il avait été concassé, les arêtes seraient bien visibles et tranchantes). Il y a très peu de carbonates, mais il s'agit d'une généralité (fig.20).

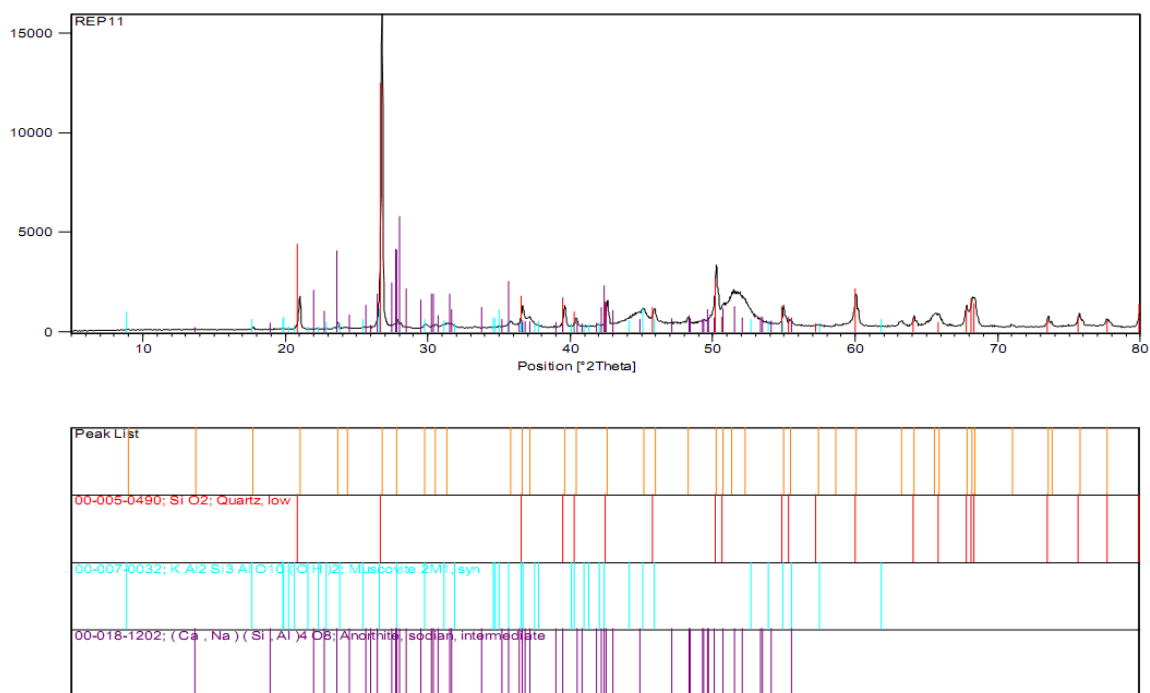


Fig. 20 : Tesson du pot (rep.11), composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg

Coupe en céramique commune (rep.12) et vase *a trottola* (rep.14) :

Elles sont très similaires dans leur composition, contrairement au Rep. 11. Présence d'hématite (absente dans le Rep. 11). Il y a une forte présence de mica, ce qui confirme une production plus ou moins locale, qui peut s'étendre jusqu'à 200 km des Alpes, vers la plaine du Pô¹⁹ (fig.21 et 22).

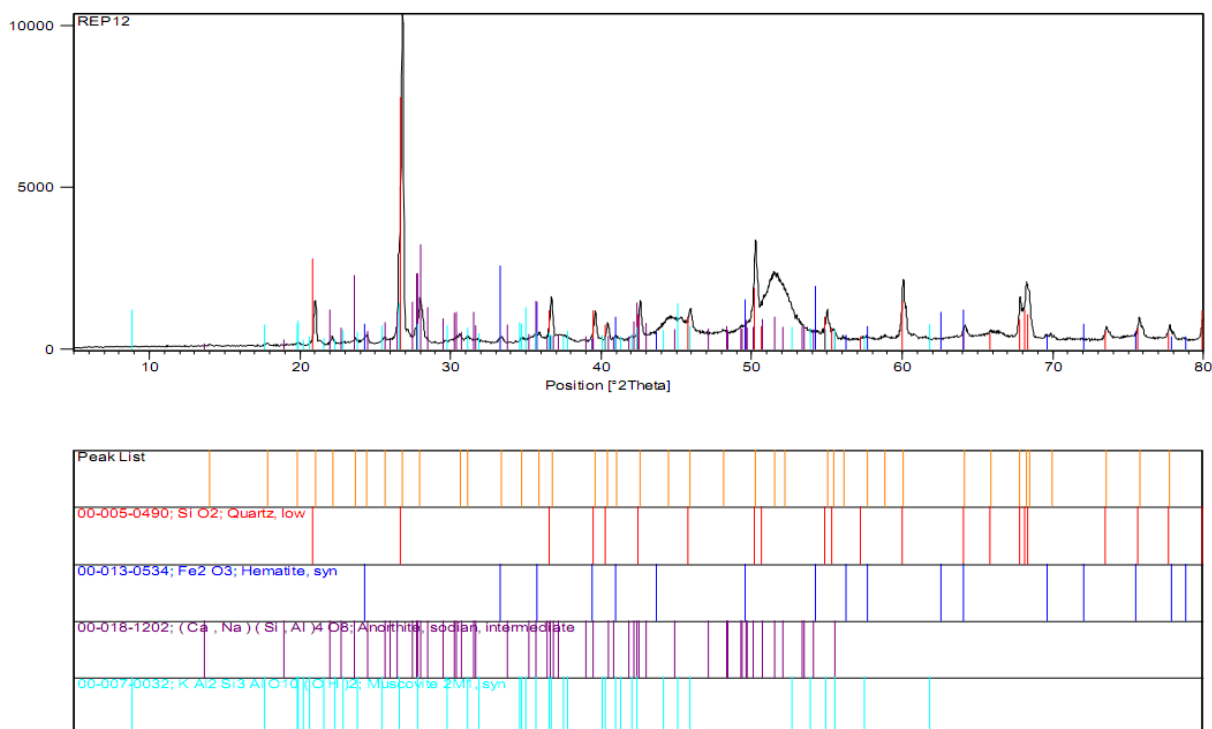


Fig. 21 : Tesson de la coupe (rep.12), composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg



¹⁹ Discussion avec Vincent Serneels, professeur au Département des Géosciences à l'Université de Fribourg.

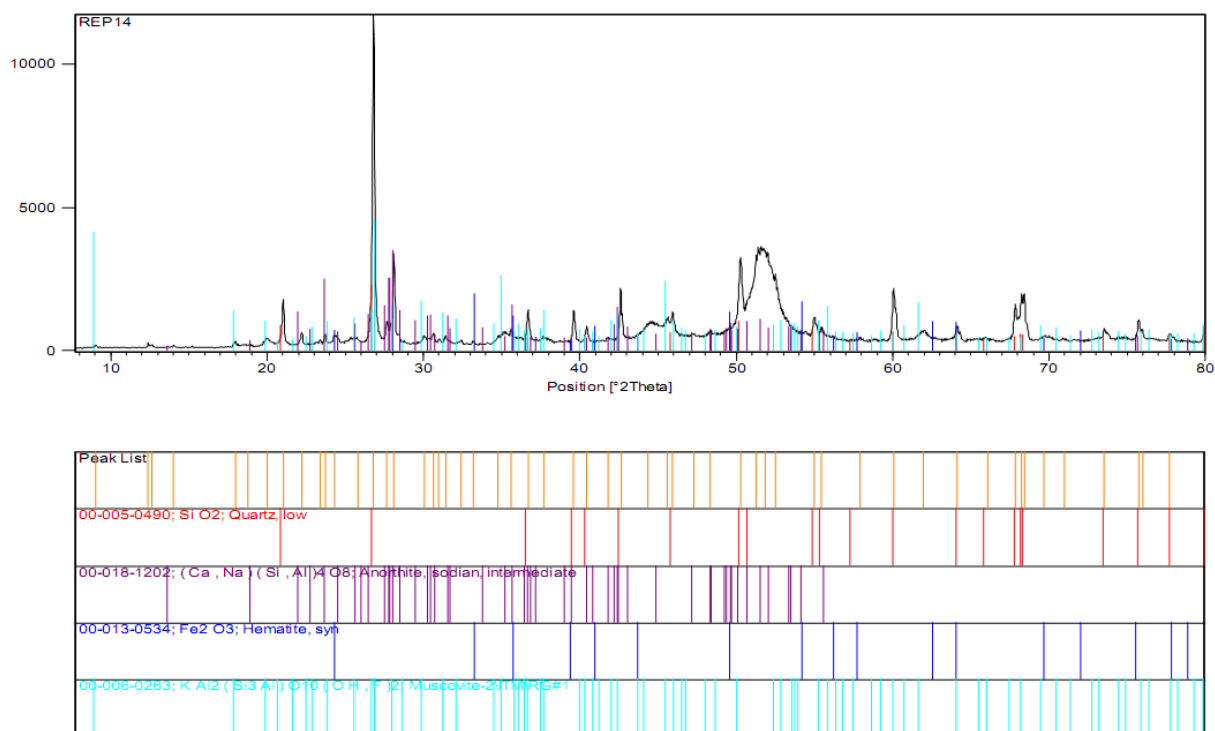


Fig. 22 : Tesson du vase (rep.14), composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg

Pour résumer les résultats d'analyse, les céramiques n'ont pas de traces de carbonates, contrairement à la terre. Les tessons donnés pour les analyses ayant préalablement été nettoyés mécaniquement de la terre, il est à supposer que ces matières organiques proviennent de la terre même qui s'est infiltrée au cours des siècles dans les pores des céramiques. Il est également possible, dans le cas de la céramique Rep. 14, qui contient davantage de matières organiques que les deux autres, que les matières organiques proviennent du contenu du vase. En effet, ce type de vase contenait généralement du vin²⁰, et un dépôt est encore actuellement visible à l'intérieur. Les analyses nous informent que les céramiques ont été cuites entre 500°C et 1000°C. Nous ne pouvons définir la température exacte de cuisson, car pour ce faire, il était nécessaire d'obtenir un échantillon de l'argile d'origine utilisée pour fabriquer ces céramiques. Avec les données récoltées, nous ne sommes pas en mesure de définir l'origine exacte des céramiques.

²⁰ PERNET *ET AL.*, 2006, p.223-224.

2.3. Spectrométrie infrarouge (FTIR)

2.3.1. Principe

La méthode consiste à envoyer un rayonnement infrarouge sur un échantillon et à déterminer ensuite la part de rayonnement absorbé par l'échantillon à une certaine énergie. L'énergie, décrite sous forme de pic sur un spectrogramme, représente les vibrations caractéristiques des liaisons chimiques qui absorbent la lumière IR d'une certaine fréquence²¹.

La spectroscopie FTIR (Fourier transform infrared / Infrarouge à transformation Fourier), la plus fréquemment utilisée, se base sur l'interférence entre 2 rayons dont les données sont converties par une méthode mathématique de la transformation Fourier. La méthode permet d'utiliser une faible quantité d'échantillon (de l'ordre du milligramme) sous forme de poudre généralement déposée sur un disque de bromure de potassium. Elle peut être utile pour déterminer les minéraux présents dans une céramique, mais certains ont une vibration semblable et donc difficilement dissociables ; elle est plus adaptée pour des matériaux organiques.²²

2.3.2. Objectif

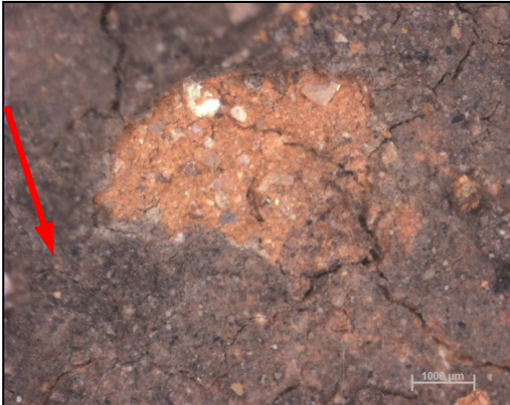


Nous avons effectué des analyses sous spectrométrie infrarouge pour déceler la présence d'eau liée dans les différentes couches des céramiques. Cette méthode permet de prélever une très petite quantité de matière, de quoi couvrir le bromure de potassium (env. 2-3 mm²), mais ne permet pas d'identifier des minéraux spécifiques. Le but de ces analyses était de voir s'il y avait une présence de matériaux organiques.


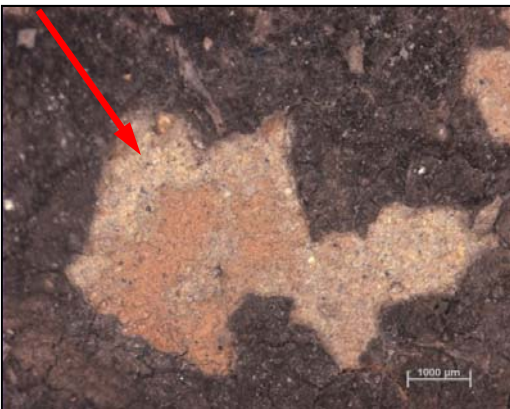

²¹STUART, 2007, p.110-112.

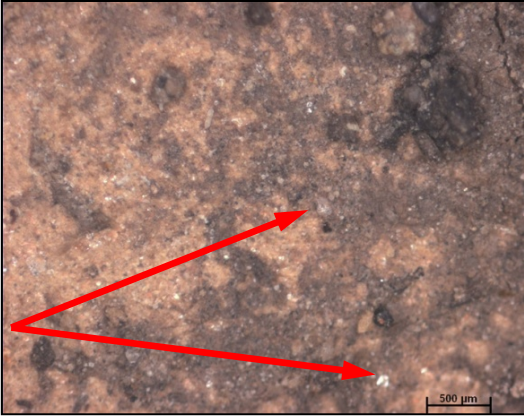
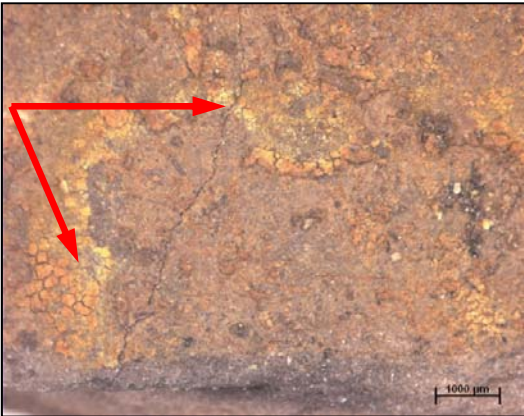
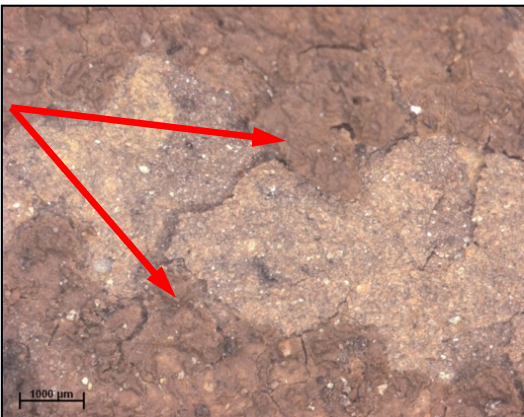
²² STUART, 2007, p.110-112 ET 134-135.


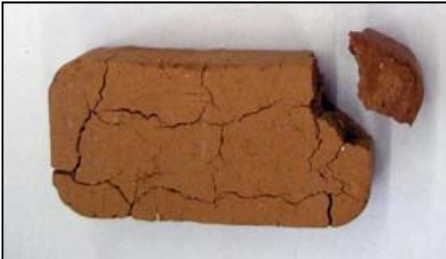
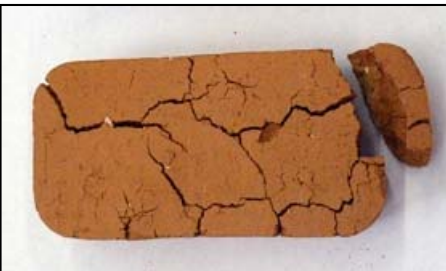

2.3.3. Résultats

Tableau 4 : Liste des échantillons analysés en FTIR

N° éch.	Matière prélevée	Illustration	Pics apparus sur la courbe
1	Rep. 11 : Couche brun foncé, surface interne (fig.23 et fig. 36, p.22)	 <p data-bbox="555 862 1066 896">Fig. 23 : Couche noire sur la surface interne</p>	<p data-bbox="1101 452 1316 486">Silicates et quartz</p> <p data-bbox="1101 515 1316 593">Légère courbe de carbonates</p> <p data-bbox="1101 622 1396 701">Groupes OH (argile ?) et H₂O</p>
2	Rep. 11 : Couche grise, surface externe (fig.24 et fig.37, p.22)	 <p data-bbox="555 1332 1066 1388">Fig. 24 : Couche gris foncé –brun sur la surface externe</p>	<p data-bbox="1101 922 1316 956">Silicates et quartz</p> <p data-bbox="1101 985 1316 1064">Légère courbe de carbonates</p> <p data-bbox="1101 1093 1157 1126">H₂O</p>
3	Rep. 11 : Couche blanc-gris, surface externe (fig.25 et fig.38, p.23)	 <p data-bbox="555 1825 1066 1848">Fig. 25 : couche blanc-gris sur la surface externe</p>	<p data-bbox="1101 1415 1316 1449">Silicates et quartz</p> <p data-bbox="1101 1478 1316 1556">Légère courbe de carbonates</p> <p data-bbox="1101 1585 1396 1664">Groupes OH (argile ?) et H₂O</p>

4	Rep. 12 : Couche brun foncé, surface externe (fig.26 et fig. 39, p.23)	 <p data-bbox="587 633 1034 689">Fig. 26 : Couche brun foncé sur la surface externe</p>	<p data-bbox="1102 224 1380 302">Silicates et quartz (peu présent)</p> <p data-bbox="1102 333 1316 412">Légère courbe de carbonates</p> <p data-bbox="1102 443 1401 521">Groupes OH (argile ?) et H₂O</p>
5	Rep. 12 : Couche gris-blanc, surface externe (fig.27 et fig.40, p.24)	 <p data-bbox="549 1124 1072 1158">Fig. 27 : Couche gris-blanc sur la surface externe</p>	<p data-bbox="1102 714 1401 748">Silicates et quartz (1 pic)</p> <p data-bbox="1102 763 1316 842">Légère courbe de carbonates</p> <p data-bbox="1102 873 1157 907">H₂O</p>
6	Rep. 12 : Corps céramique (fig.28 et fig.41, p.24)	 <p data-bbox="675 1590 946 1624">Fig. 28 : Corps céramique</p>	<p data-bbox="1102 1180 1401 1214">Silicates et quartz (1 pic)</p> <p data-bbox="1102 1243 1230 1276">Léger H₂O</p>

7	Rep. 14 : Cristaux blancs plats, surface externe (fig.29 et fig.42, p.25)	 <p>Fig. 29 : Cristaux blancs sur la surface externe</p>	Silicates et quartz Carbonates Groupes OH (argile ?) et H ₂ O
8	Rep. 14 : Taches orange-jaune, surface interne (fig.30 et fig.43, p.25)	 <p>Fig. 30 : Dépôts orange-jaune sur la surface interne</p>	Silicates ou hématite → peu fiable
9	Rep. 14 : Soulèvements gris, surface interne (fig.31 et fig.44, p.26)	 <p>Fig. 31 : Soulèvements sur la surface interne</p>	Silicates et quartz Carbonates Groupes OH (argile ?) et H ₂ O

10	Terre crue (fig.32 et fig.45, p.26)	 <p>Fig. 32 : Echantillon de la terre d'enfouissement</p>	Silicates et quartz Carbonates Groupes OH (argile ?) et H ₂ O
11	Terre cuite à 700°C (fig.33 et fig.46, p.27)	 <p>Fig. 33 : Eprouvette de terre cuite à 700°C</p>	Silicates et quartz Carbonates
12	Terre cuite à 800°C (fig.34 et fig.47, p.27)	 <p>Fig. 34 : Eprouvette de terre cuite à 800°C</p>	Silicates et quartz (plus de carbonates)
13	Terre cuite à 900°C (fig.35 et fig.48, p.28)	 <p>Fig. 35 : Eprouvette de terre cuite à 900°C</p>	Silicates et quartz

Echantillon 1 : Pot modelé à la main (Rep.11), couche brun foncé, surface interne

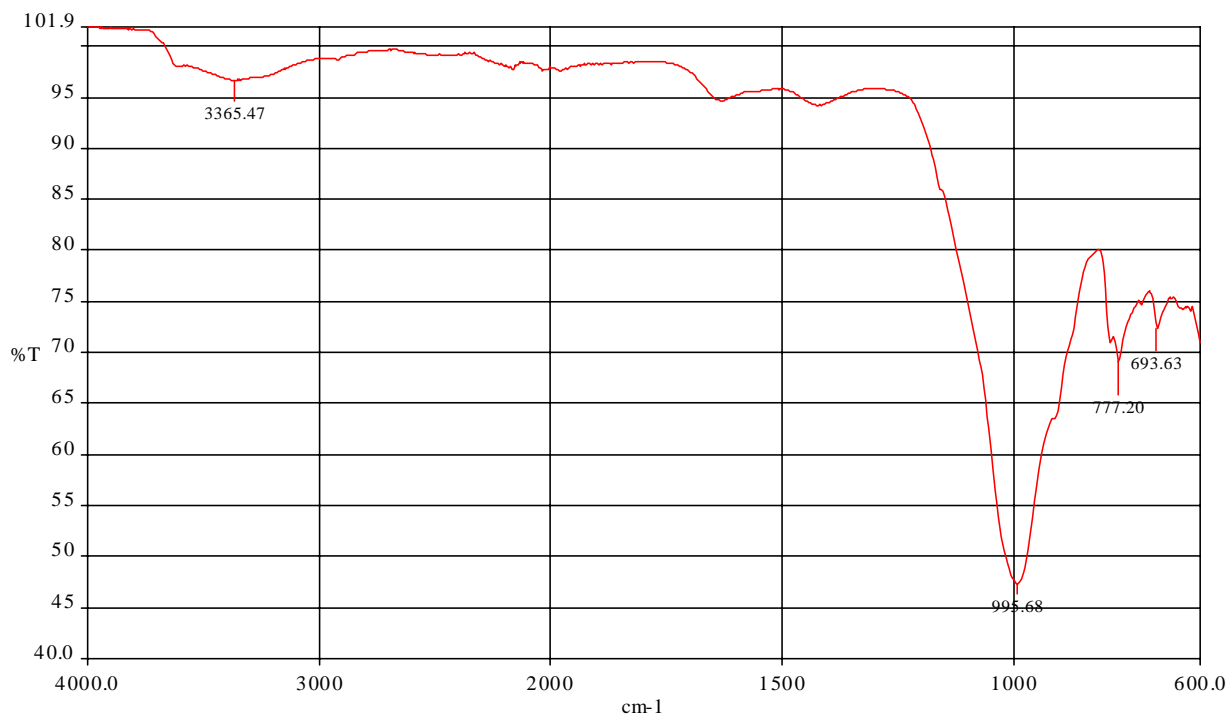


Fig. 36 : Pot (rep.11), couche brun foncé, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 2 : Pot modelé à la main (Rep.11), couche gris foncé, surface externe

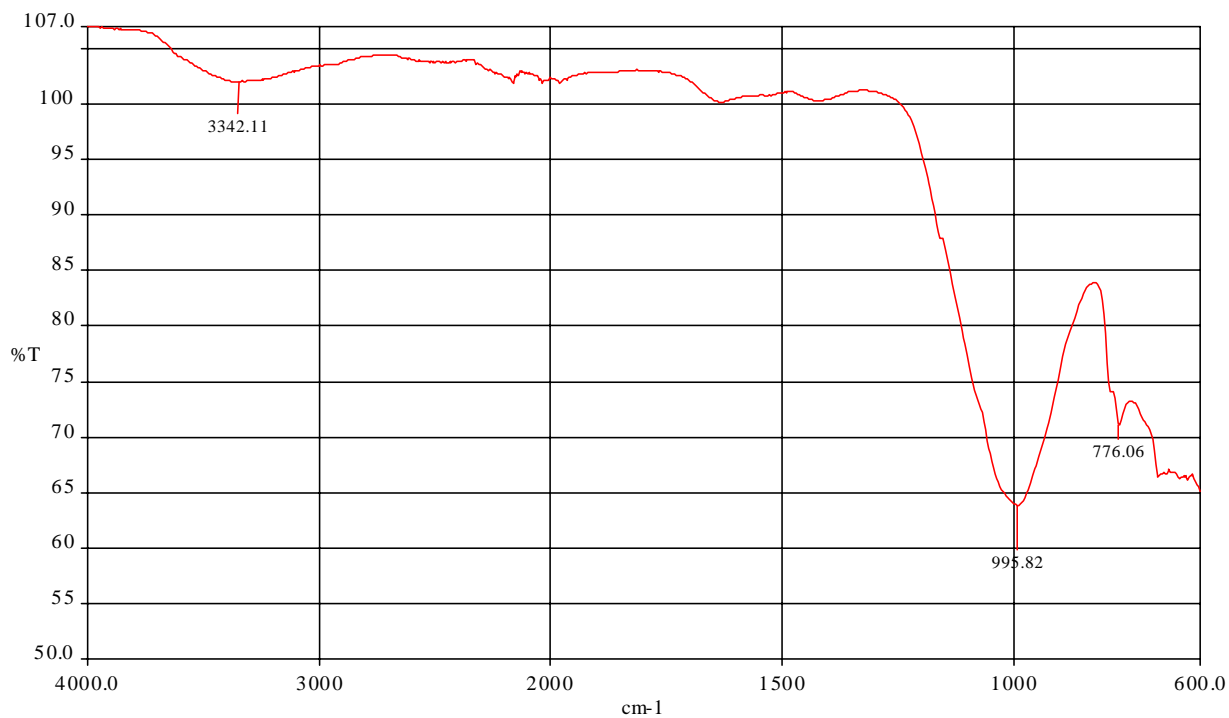


Fig. 37 : Pot (rep.11), couche gris foncé, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 3 : Pot modelé à la main (Rep.11), couche blanc-gris, surface externe

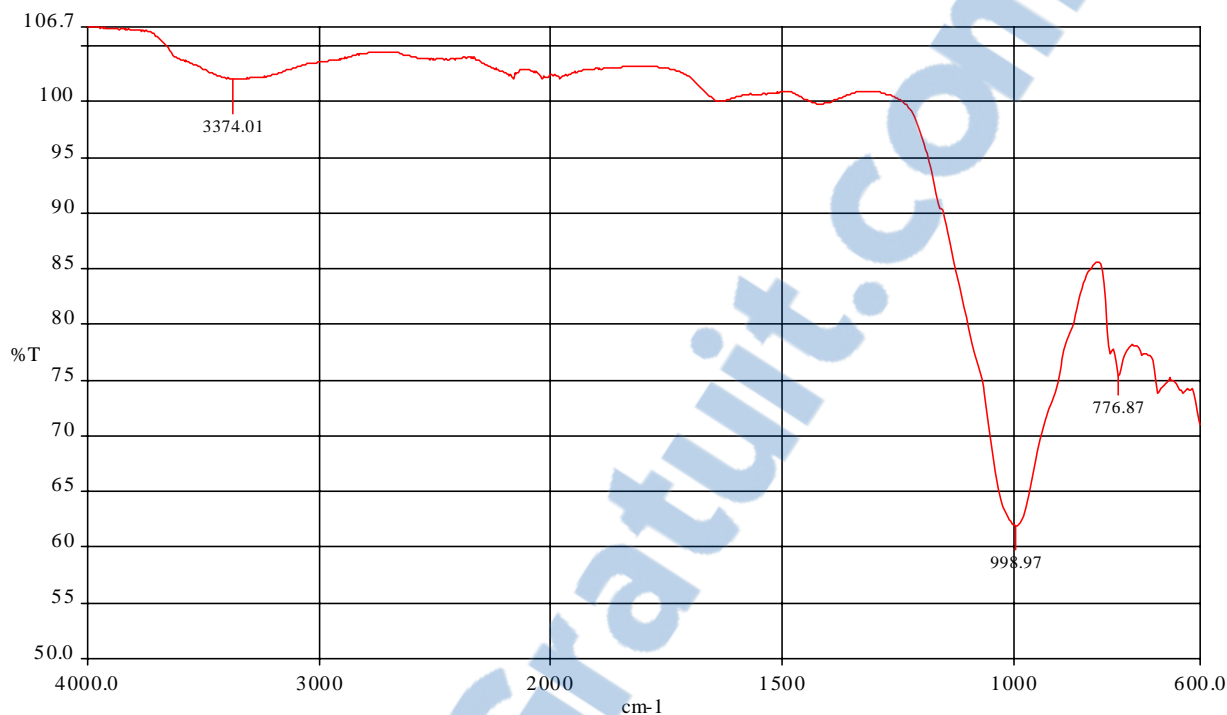


Fig. 38 : Pot (rep.11), couche blanc-gris, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 4 : Coupe en céramique commune (rep.12), couche brun foncé, surface externe

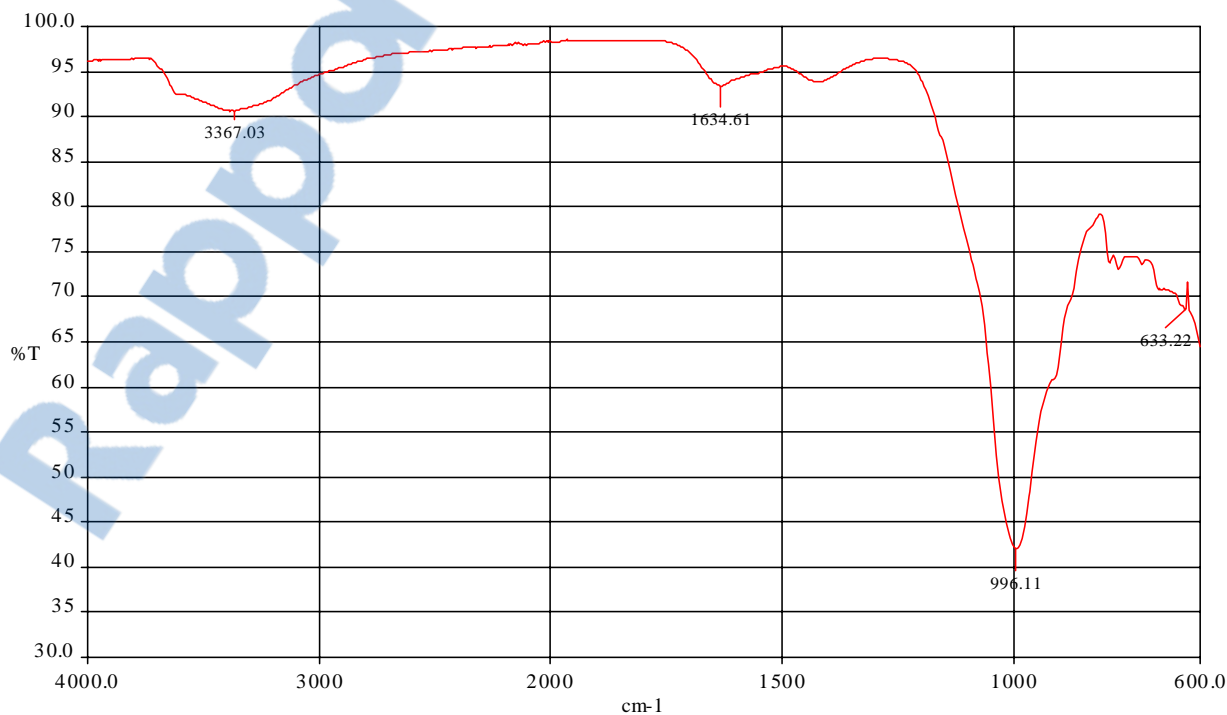


Fig. 39 : Coupe (rep.12), couche brun foncé, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 5 : Coupe en céramique commune (rep.12), couche gris-blanc, surface externe

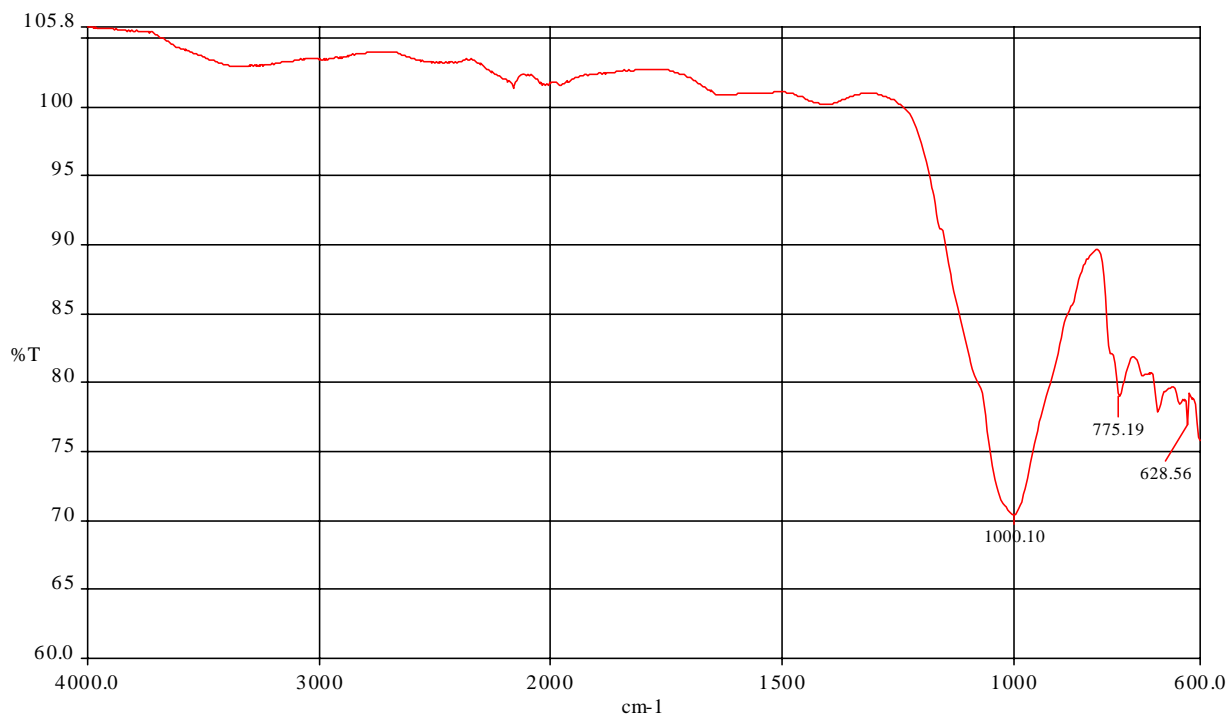


Fig. 40 : Coupe (rep.12), couche gris-blanc, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 6 : Coupe en céramique commune (rep.12), corps céramique

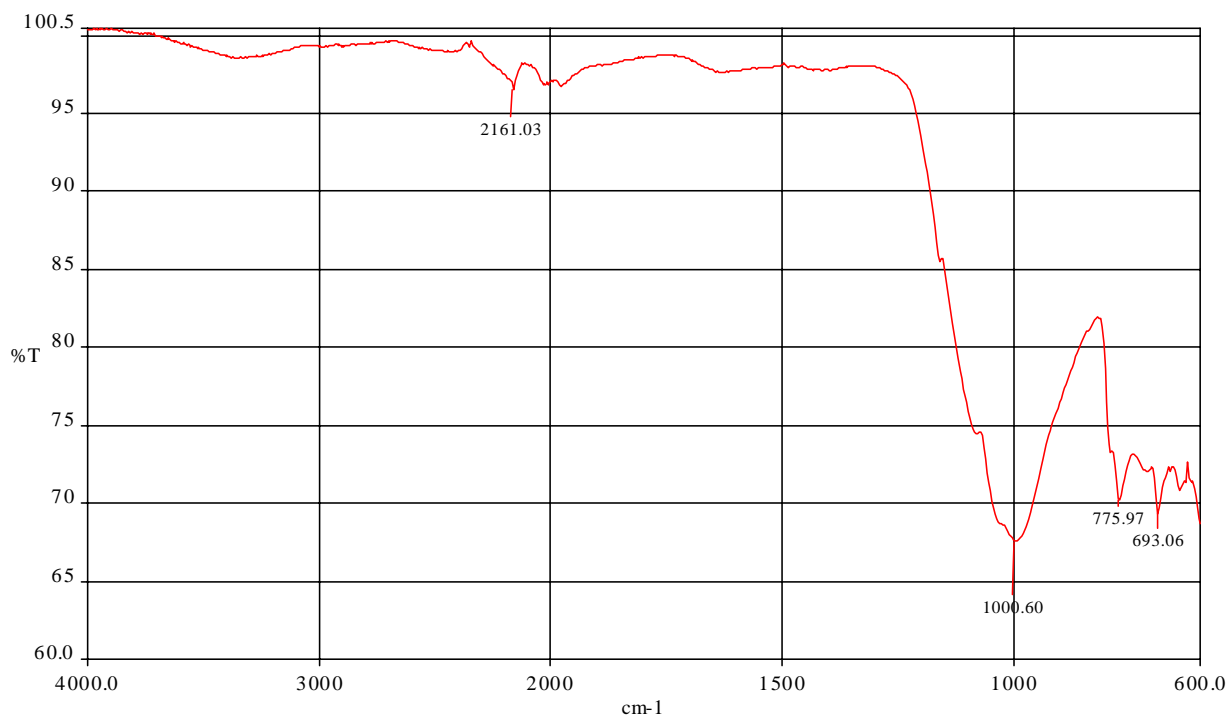


Fig. 41 : Coupe (rep.12), corps céramique, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 7 : Vase *a trottola* (rep.14), cristaux blancs plats, surface externe

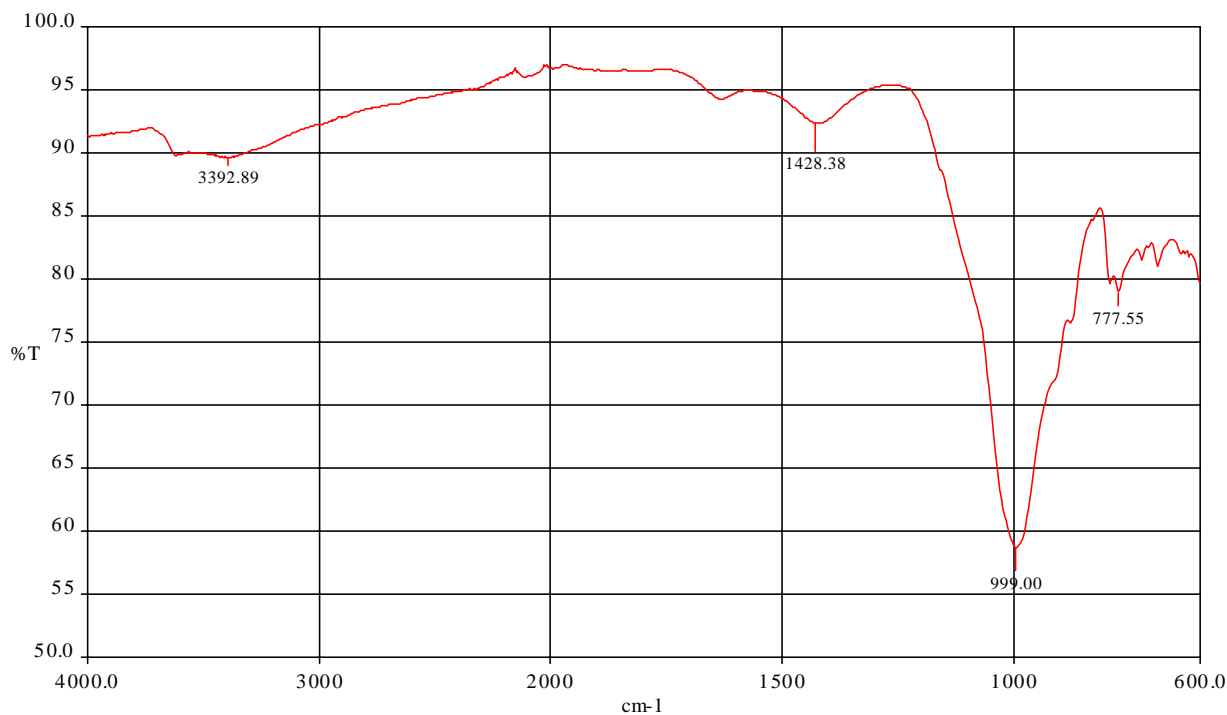


Fig. 42 : Vase *a trottola* (rep.14), cristaux blancs, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 8 : Vase *a trottola* (rep.14), taches oranges-jaunes, surface interne

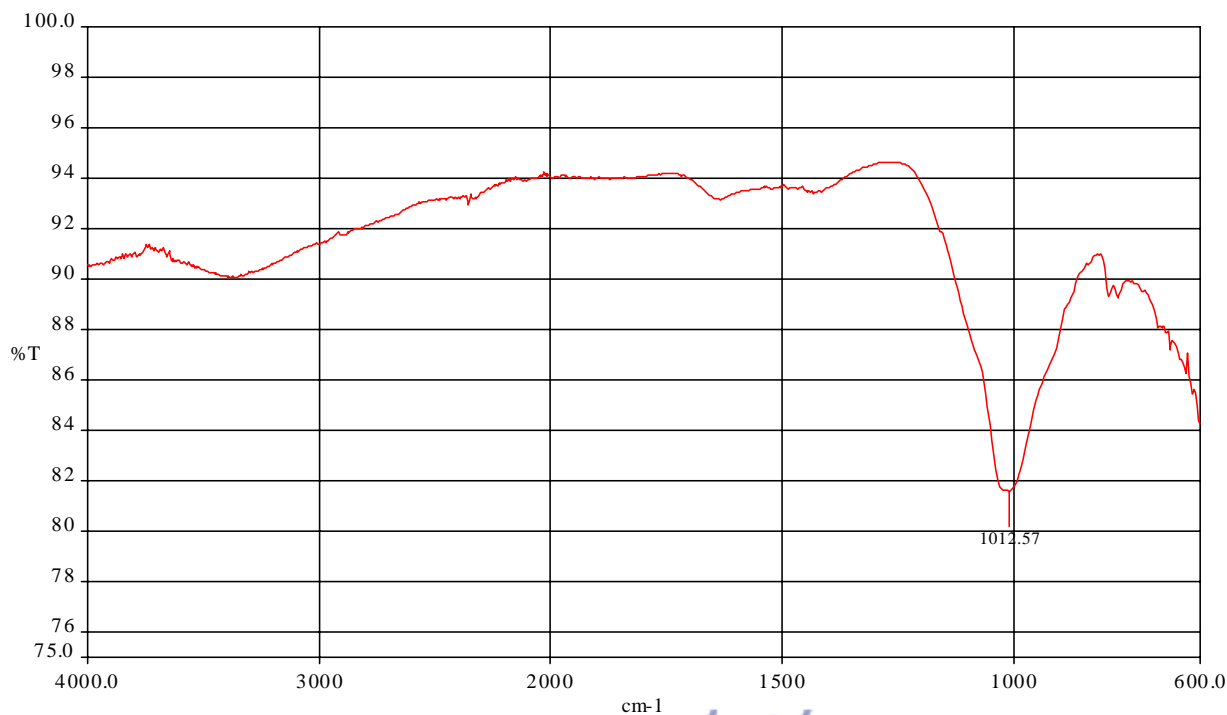


Fig. 43 : Vase *a trottola* (rep.14), taches orange-jaune, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 9 : Vase *a trottola* (rep.14), soulèvements gris, surface interne

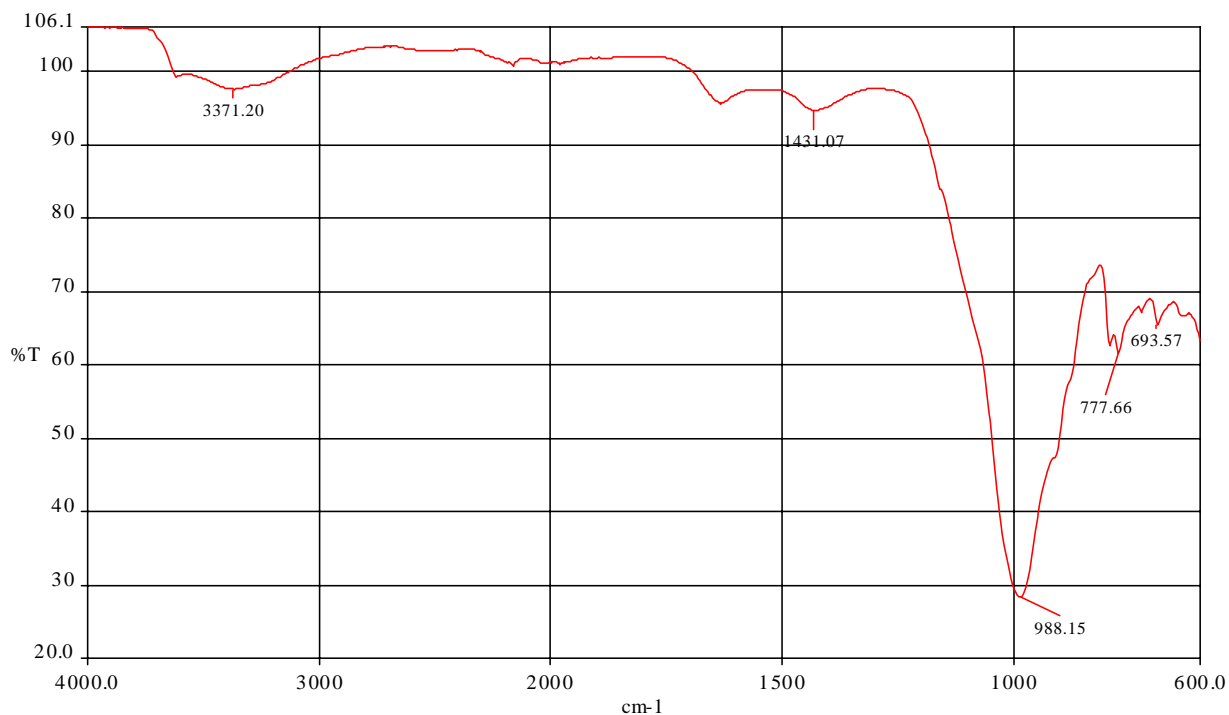


Fig. 44 : Vase *a trottola* (rep.14), soulèvements gris, composition, Analyse FTIR, SUPSI

Echantillon 10 : Terre crue (d'enfouissement)

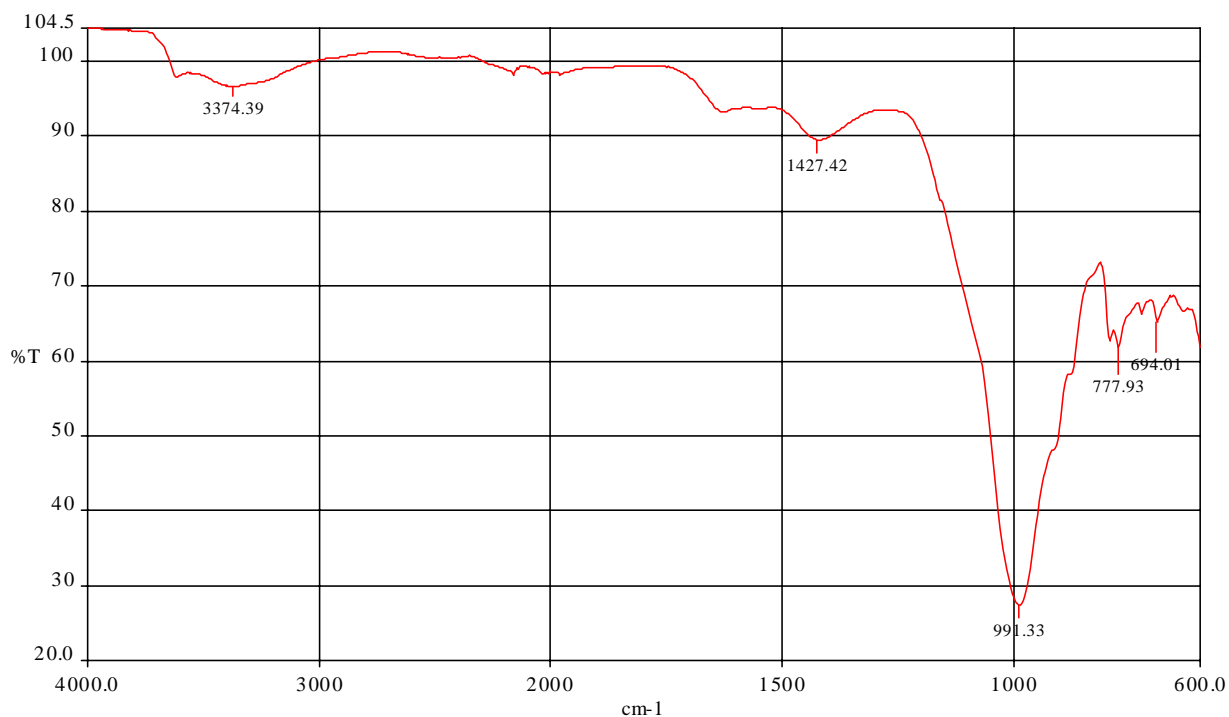


Fig. 45 : Terre crue (d'enfouissement), composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 11 : Terre cuite à 700°C

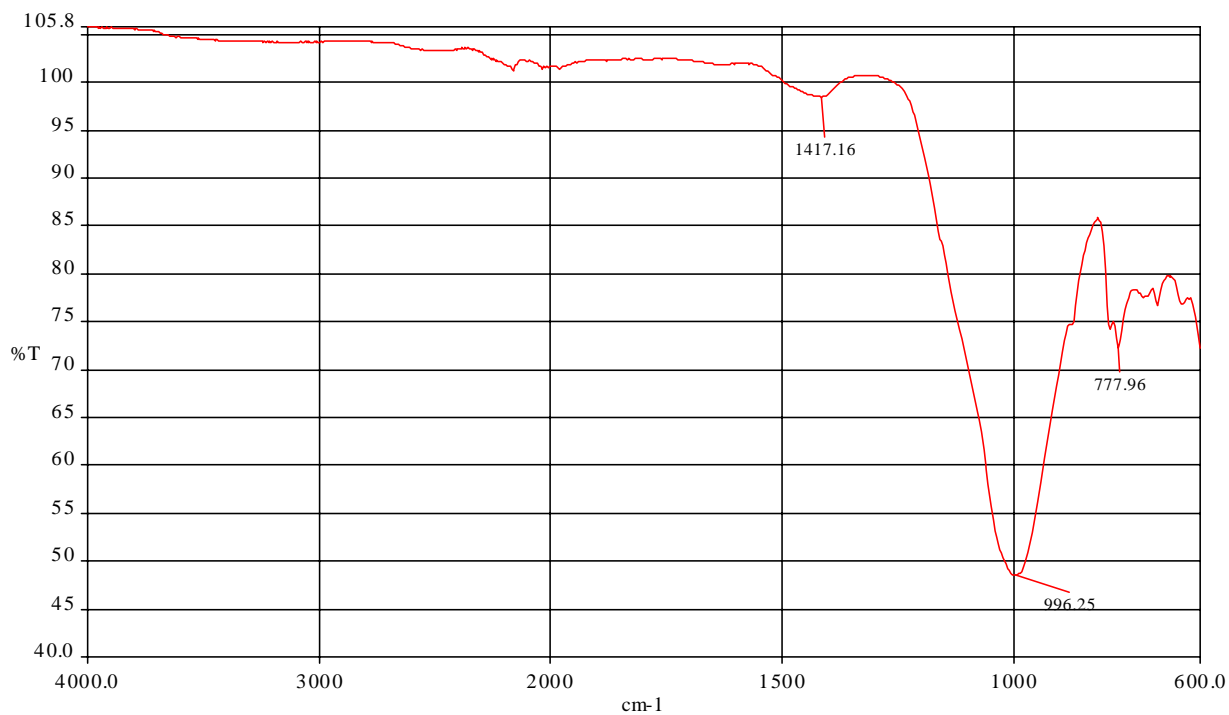


Fig. 46 : Eprouvette cuite à 700°C, composition, Analyse FTIR, SUPSI

Echantillon 12 : Terre cuite à 800°C

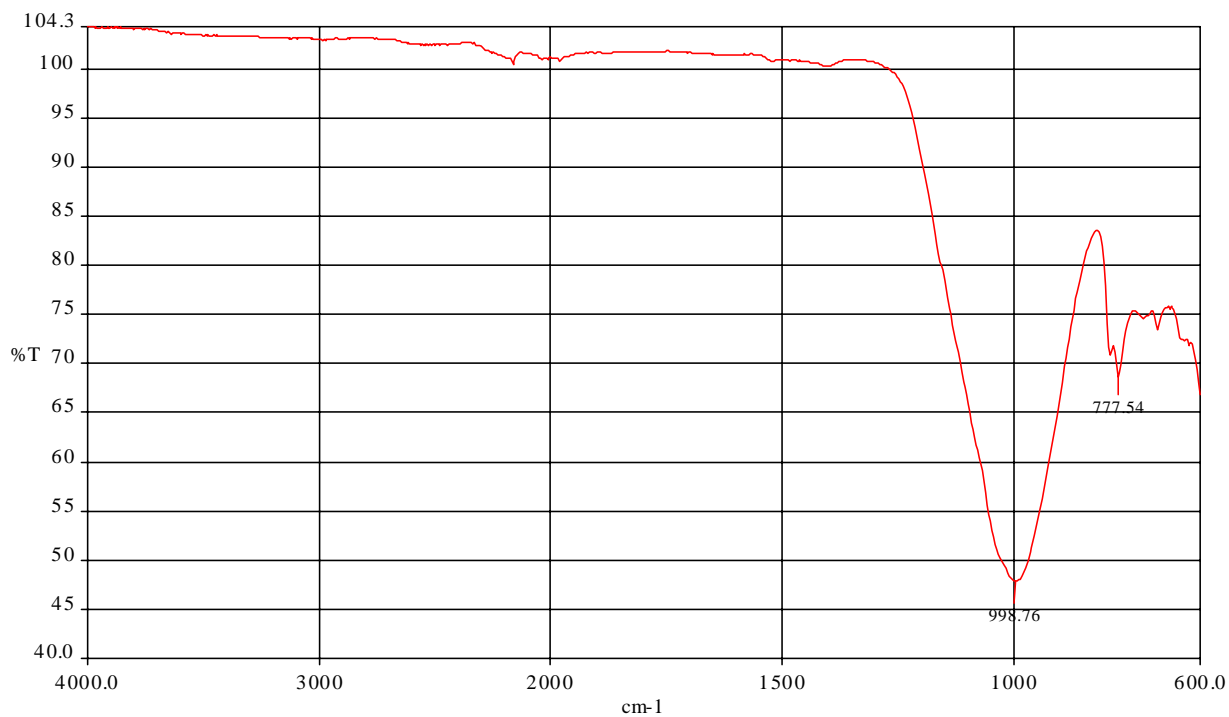


Fig. 47 : Eprouvette cuite à 800°C, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

Echantillon 13 : Terre cuite à 900°C

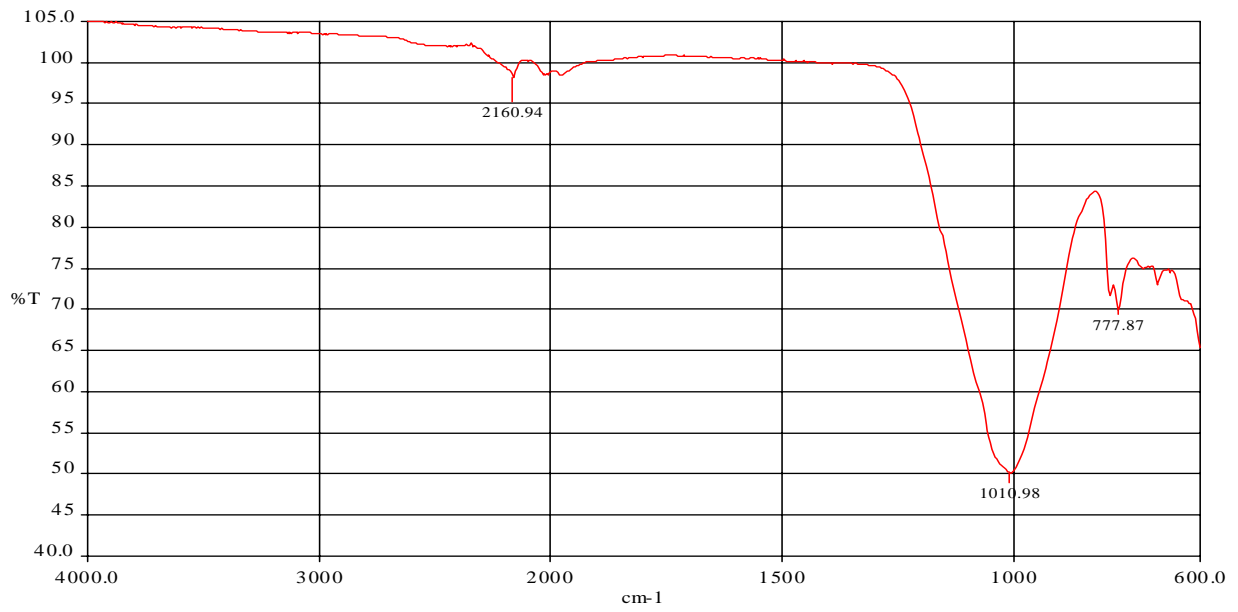


Fig. 48 : Eprovette cuite à 900°C, composition, Analyse FTIR, ©SUPSI

APPENDICE II : TABLEAUX DES PROPRIETES

1. CYCLODODECANE

Tableau 5 : Tableau des propriétés du cyclododécane

Aspect : solide incolore, aspect cireux	
Point de fusion : 61° C	Point d'ébullition : 243 °C (1013 hPa)
Solubilité : dans éther de pétrole et White Spirit	Viscosité : 2.2 mPas (65°C)

(Fiche technique sur www.kremer-pigmente.de)

2. PARALOÏD® B72

Tableau 6 : Tableau des propriétés du Paraloïd® B72

Aspect : solide transparent semi-dur	
Température de transition vitreuse : env. 40°C	Point de fusion : env. 150°C
Solubilité : Soluble dans toluène et acétone ; peu soluble dans isopropanol, éthanol ; insoluble dans White Spirit.	Viscosité : Env. 200 mPas dans acétone (40% à 25°C), Env. 600 mPas dans toluène (40% à 25°C).

(Fiche technique sur www.lascaux.ch)

3. PLEXTOL® B500

Tableau 7 : Tableau des propriétés du Plectol® B500

Aspect : liquide blanc laiteux, film transparent élastique	Taille des particules en dispersion : 0.1-0.2 µm
Température de transition vitreuse (du film) : 9°C	Température min. de formation du film : 7°C
Solubilité de la dispersion : Peut être dilué dans l'eau	Viscosité de la dispersion : 1000-5000 mPas (50% de parts solides) à 25°C

(Fiche technique sur www.lascaux.ch)

4. PRIMAL® WS24

Tableau 8 : Tableau des propriétés de la Primal® WS24

Aspect : liquide blanc laiteux et translucide, film transparent	Taille des particules en dispersion : 0.03 µm
Température de transition vitreuse : 46°C	Température min. de formation du film : < 10°C
Solubilité : Peut être dilué dans l'eau	Viscosité : Non déterminé

(Fiche technique sur www.kremer-pigmente.de)

Rapport-gratuit.com
LE NUMERO 1 MONDIAL DU MÉMOIRES 

5. ALCOOL POLYVINYLIQUE (MOWIOL® 4-98)

Tableau 9 : Tableau des propriétés du Mowiol® 4-98

Aspect : liquide, jaunâtre translucide	
Température de transition vitreuse : pas applicable	Point de fusion : pas applicable
Solubilité : Soluble dans l'eau ; insoluble dans les solvants non miscibles à l'eau	Viscosité : 4500 mPas à 4% en solution aqueuse à 20°C

(Fiche technique sur www.kremer-pigmente.de)

6. KLUCEL® G

Tableau 10 : Tableau des propriétés de la Klucel® G

Aspect : poudre blanc crème	
Température de transition vitreuse : non déterminée	Point de fusion : non déterminé
Solubilité : Miscible sans l'eau et solvants polaires Immiscible dans les solvants apolaires	Viscosité : 150-400 mPas à 2% dans l'eau à 25°C 75-400 mPas à 2% dans l'éthanol à 25°C

(Fiche technique sur www.kremer-pigmente.de)

7. TYLOSE® MH2000

Tableau 11 : Tableau des propriétés du Tylose® MH2000

Aspect : poudre blanche	
Température de transition vitreuse : pas applicable	Point de fusion : pas applicable
Solubilité : Soluble dans l'eau	Viscosité : 2000 mPas à 2% dans l'eau à 20°C

(voir fiche technique de Cellulose K 1000 sur www.kremer-pigmente.de)

8. ECHANGEUR D'IONS AMBERLITE® IR 120H

Tableau 12 : Tableau des propriétés de l'Amberlite® IR 120H

Aspect : poudre ambrée	Taille des particules : 38-150 µm
Température maximale d'opération : 135°C	Solubilité : Miscible dans l'eau et dans l'éthanol

(fiche technique sur www.rohmhaas.com)

9. CARBOPOL®

Tableau 13 : Tableau des propriétés du Carbopol®

Aspect : poudre blanche	
Température de transition vitreuse : non déterminé	Point de fusion : non déterminé
Solubilité : Miscible dans l'eau	Viscosité : 10-30 Pas à 0.2% dans l'eau 50-70 Pas à 0.5% dans l'eau

(fiche technique sur www.kremer-pigmente.de)

10. AEROSIL®

Tableau 14 : Tableau des propriétés de l'Aérosil®

Aspect : poudre blanche	
Température de transition vitreuse : non déterminé	Point de fusion : env. 1700°C
Solubilité : Très soluble dans l'eau	Viscosité : Non applicable

(fiche technique sur www.evonik.com)

APPENDICE III : TESTS DE COMPATIBILITE DES CATAPLASMES AVEC LES PRODUITS CHIMIQUES

Tableau 15 : Réactions et pH des produits de nettoyage mélangés aux différents gélifiants

	Sépiolite	Flocons de coton	Pulpe de cellulose	Carbopol®	Tylose®	Aérosil®
Eau déminéralisée (pH 6-7)	~32% et ~36% ²³ / pH 7 Mélange homogène	~9% / pH 6-7 Mélange épais et hétérogène	~9% / pH 6-7 Mélange homogène	~9% / pH 3-5 Mélange homogène	~3% / pH 6-7 Mélange homogène	~5% / pH 6-7 Mélange homogène
Bicarbonate de sodium (pH 9-10)	~33% / pH 9-10 Mélange homogène	~12% / pH 9-10 Mélange épais et hétérogène	~13% / pH 9-10 Mélange homogène	~3% / pH 9-10 Présence de grumeaux et formation de mousse	~3% et ~15% / pH 9-10 Ne prend pas, séparation et jaunissement >5h	~9% / pH 9-10 Mélange homogène
Hydrogénocarbonate d'ammonium (pH 9-10)	~41% / pH 10 Mélange homogène	~12% / pH 9-10 Mélange épais et hétérogène	~13% / pH 9-10 Mélange homogène	~3% et ~6% / pH 8-9 Présence de grumeaux et formation de mousse	~3% et ~5% / pH 9-10 Mélange homogène	~9% / pH 10 Mélange homogène
Acide acétique (pH 3-4)	~33% / pH 7 Forte effervescence	~12% / pH 3 Mélange épais et	~16% / pH 3 Mélange homogène	~6% / pH 3 Mélange homogène	~5% et ~8% / pH 3-4	~6% et ~8% / pH 3 Mélange homogène

²³ Il s'agit du pourcentage de gélifiant/épaississant dans le mélange avec les produits (pds/pds).

	Mélange homogène	hétérogène			Mélange homogène	
Acide citrique (pH 1-2)	~35% / pH 7 Effervescence Mélange homogène	~13% / pH 1-2 Mélange épais et hétérogène	~13% / pH 1-2 Mélange homogène	~6% / pH 1-2 Mélange homogène	~3% / pH 1-2 Mélange homogène	~9% / pH 1-2 Mélange homogène
EDTA (pH 3-4)	~34% / pH 7 Légère effervescence Mélange homogène	~18% / pH 3-4 Mélange épais et hétérogène	~18% / pH 3-4 Mélange homogène	~6% / pH 3 Mélange homogène	~3% / pH 3 Prend en plus de >5h, mélange hétérogène au début	~9% / pH 3-4 Mélange homogène
EDTA (pH 10)	~40% / pH 9-10 Mélange homogène	~15% / pH 10 Mélange épais et hétérogène	~18% / pH 9-10 Mélange homogène	~5% / pH 3-4 Mélange homogène	~1% / pH 10 Mélange homogène	~6% / pH 10 Mélange homogène
Calgon® (pH 9-10)	~37% / pH 8 Mélange homogène	~16% / pH 8 Mélange épais et hétérogène	~17% / pH 8 Mélange homogène	~9% / pH 3 Mélange homogène	~3% et ~5% / pH 8 Mélange homogène	~9% / pH 6 Mélange homogène
Amberlite® IR 120H, Echangeur de cations 50% dans H₂O (pH 1-2)	~9% / pH 2-3 Forte effervescence Mélange homogène	~7% / pH 1-2 Mélange épais et hétérogène	~10% / pH 1-2 Mélange homogène	~3% / pH 1-2 Mélange homogène	~5% / pH 1 Mélange homogène	~5% / pH 1-2 Mélange homogène

APPENDICE IV : TESTS DE COMPATIBILITE DES CONSOLIDANTS AVEC LES PRODUITS CHIMIQUES

Tableau 16 : Réactions des consolidants avec les produits après 5 heures d'application

	Cyclododécane (pH 7)	Primal WS24 (pH 8)	Plextol B500 (pH 8-9)	Paraloid B72 (pH 7)	Tylose (pH 7-8)	Klucel G (pH 7-8)	Alcool polyvinlique (pH 7)
Bicarbonate de sodium	Légèrement blanchie	Complètement dissous	Décollement et blancheur	Pas de changement	Partiellement dissous et ramolli	Partiellement dissous et ramolli	Partiellement dissous, légèrement blanchi
Hydrogéo-carbonate d'ammonium	Pulvérulent	Complètement dissous	Décollement et blancheur, ramolli	Décollement partiel, ramolli	Complètement dissous	Complètement dissous	Partiellement dissous
Acide acétique	Pulvérulent	Blanchi et légèrement ramolli	Décollement et blancheur, ramolli	Décollement, ramolli	Complètement dissous	Complètement dissous	Partiellement dissous
Acide citrique	Très pulvérulent	Partiellement dissous et ramolli	Décollement et blancheur	Décollement, ramolli puis dur	Partiellement dissous	Partiellement dissous	Partiellement dissous et ramolli
EDTA	Légèrement blanchi	Partiellement dissous et ramolli	Décollement et blancheur, un peu plus dur	Décollement, sinon pas de changement	Complètement dissous	Complètement dissous	Complètement dissous
Calgon®	Pulvérulent	Complètement	Décollement et	Décollement	Complètement	Complètement	Complètement

		dissous	blancheur, ramolli	partiel, léger blanchiment	dissous	dissous	dissous
Amberlite® IR 120H, Echangeur de cations	Pulvérulent	Blanchi	Décollement et blancheur Très ramolli	Pas de changement	Complètement dissous	Partiellement dissous	Complètement dissous

APPENDICE V : PHOTOS DES RESULTATS DES PREMIERS TESTS DE NETTOYAGE SUR LES CERAMIQUES



Fig. 49 : Nettoyage sur le pot avec cataplasme de bicarbonate de sodium. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau et à l'airbrush à droite, pré-consolidé.



Fig. 50 : Nettoyage sur le pot avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau, non pré-consolidé à gauche, pré-consolidé à droite.



Fig. 51 : Nettoyage sur le pot avec cataplasme d'échangeur d'ions. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau, non pré-consolidé.



Fig. 52 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate de sodium. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau, pré-consolidé à gauche, et non pré-consolidé à droite.

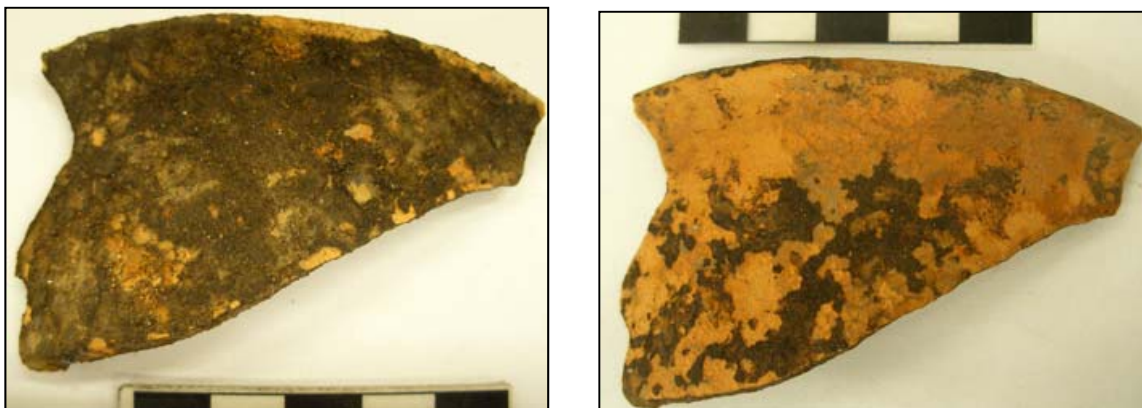


Fig. 53 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium. A gauche, Avant traitement ; à droite, après les tests de nettoyage chimique.

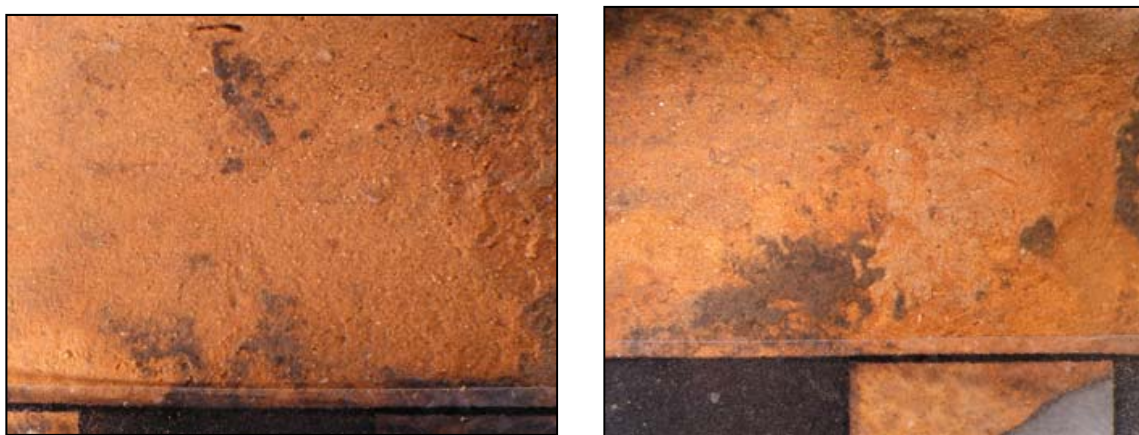


Fig. 54 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium. A gauche, tesson après nettoyage au pinceau, non pré-consolidé ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau pré-consolidé.



Fig. 55 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme d'échangeur d'ions. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage à l'airbrush à gauche, au pinceau à droite, non pré-consolidé. La couche brune restant est la terre, alors que la couche rouge-brun est l'engobe de la céramique

APPENDICE VI : PHOTOS DES RESULTATS DES SECONDS TESTS DE NETTOYAGE SUR LES CERAMIQUES

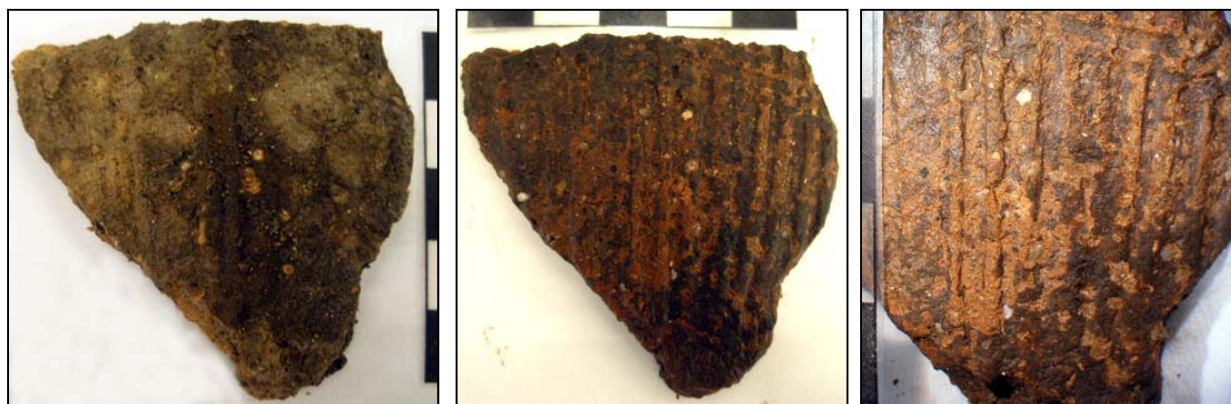


Fig. 56 : Nettoyage sur le pot modelé main avec cataplasme de bicarbonate de sodium, avec pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur les décors.



Fig. 57 : Nettoyage sur le pot modelé main avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium, avec pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur les décors.

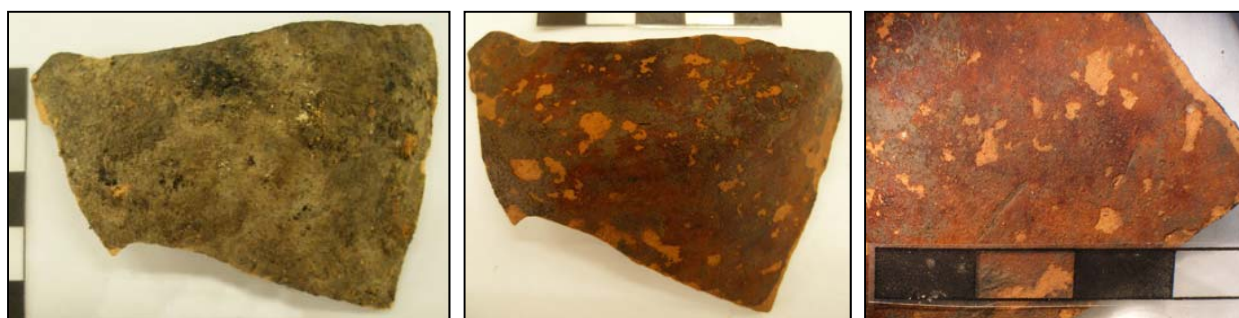


Fig. 58 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate de sodium, sans pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur l'engobe.



Fig. 59 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium, avec pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur la surface, avec quelques bribes d'engobe.

APPENDICE VII : BIBLIOGRAPHIE GÉNÉRALE CONSULTÉE

- Acton, Lesley and McAuley, Paul. Repairing Pottery and Porcelain, a practical guide. Herbert Press, London, 1996. Chapter 2, Examination and identification, p. 20.
- Acton, Lesley and McAuley, Paul. Repairing Pottery and Porcelain, a practical guide. Herbert Press, London, 1996. Chapter 3, Cleaning, pp. 24-31.
- Acton, Lesley and McAuley, Paul. Repairing Pottery and Porcelain, a practical guide. Herbert Press, London, 1996. Chapter 5, Bonding, pp. 42-44.
- Adam, Anne-Marie et Koenig, Marie-Pierre. Le céramique domestique en Alsace de la fin du Bronze final au début de La Tène : essai de synthèse. *In* Adam, Anne-Marie (dir.). Recherches de protohistoire alsacienne. La céramique d'habitat du Bronze final III à La Tène ancienne. Revue Archéologique de l'Est, Dijon, 2005.
- Alvarez, Luciano Cedillo. "Stucco: a report on the methodology developed in Mexico". *In* Hodges, Henry W.M. (Ed.). In situ archaeological conservation. Proceeding of meetings, April 6-13, 1986, Mexico. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1987, pp. 90-97.
- Andrey, Aline. Autour de la tombe, les structures funéraires non sépulcrales dans les necropolis gallo-romaines d'Avenches, de Nyon et de Martigny. Mémoire de licence de l'Université de Lausanne, Faculté des Lettres, Institut d'Archéologie et des sciences de l'antiquité, Archéologie provinciale romaine, Lausanne, 2007, *non publié*.
- Arbeitsblätter, Heft 1, Gruppe 16, Materialien, 1969, p. 3-6.
- Ashley-Smith, Jonathan *et al.* Science for conservators. Volume 2: Cleaning. Museums & Galleries commission and Routledge, London, 1987. Chapter 1, The Nature of dirt, pp. 13-22.
- Ashley-Smith, Jonathan *et al.* Science for conservators. Volume 2: Cleaning. Museums & Galleries commission and Routledge, London, 1987. Chapter 5, Cleaning with water, pp. 75-85.
- Ashley-Smith, Jonathan *et al.* Science for conservators. Volume 2: Cleaning. Museums & Galleries commission and Routledge, London, 1987. Chapter 6, Water, acidity and alkalinity, pp. 89-103.
- Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008.
- Baldracchi, Manuela *et al.* Restauro della facciata principale di Palazzo Thun a Trento. *In* Il progetto di restauro architettonico. Dall'analisi all'intervento. Atti di seminario in Archeologia dell'Architettura Trento, Palazzo Geremia, 27/28 ottobre 2000. Provincia Autonoma di Trento, Servizio Beni Culturali, Trento, 2002, pp. 9-22.

- Bauer-Bornemann, Ulrich und Sobott, Robert. "Lasereinigung umweltgeschädigter Natursteindenkmäler – Projekt zum modellhaften Einsatz für verschiedene Gesteinsarten". Restauro 106/1, 2000, pp. 48-56.
- Berducou, Marie. "La céramique archéologique". In Berducou, Marie-Claude (dir.). La conservation en archéologie. Masson, Paris, 1991, Chapitre 3, pp. 78-119.
- Berger, Ludwig *et al.* Römischer Keramik in der Schweiz/ Céramique romaine en Suisse/ Ceramica romana in Svizzera. Antiqua 31, publication de la Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Basel, 1999.
- Bergeron, André et Rémillard, France. L'archéologue et la conservation, vade mecum québécois. Les publications du Québec, Québec, 1991. Chapitre 1 : l'évolution des objets dans le sol, pp. 7-14.
- Bergeron, André et Rémillard, France. L'archéologue et la conservation, vade mecum québécois. Les publications du Québec, Québec, 1991. Chapitre 2 : Matériaux inorganiques, pp. 15-27.
- Bergeron, André et Rémillard, France. L'archéologue et la conservation, vade mecum québécois. Les publications du Québec, Québec, 1991. Chapitre 5.1 : La consolidation, pp. 79-83.
- Bergeron, André et Rémillard, France. L'archéologue et la conservation, vade mecum québécois. Les publications du Québec, Québec, 1991. Chapitre 6 : conservation préventive après la fouille, pp. 119-129.
- Bertholon, Régis. Méthode de description de la corrosion. Strates caractères. Document de travail, Paris, 2007. *Non publié*.
- Bini, A. *et al.* Geologia del Mendrisiotto (Canton Ticino, Svizzera): Messiniano, Pliocene e Quaternario. Ufficio federale delle acque e della geologia UFAEG, Berna, 2001.
- Boccia Paterakis, Alice. "Conservation: preservation versus analysis?". In Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 143-148.
- Böhme, Dirk und Wölker, Gerald. "Chemische Entfernung von Kalkschleiern und –krusten auf Wandmalerei – Grundsätzlichen Überlegungen und orientierende Modellversuche". Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 8/1994, Heft 1. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 1994, pp. 78-85.
- Botticelli, Guido. Metodologia di restauro delle pitture murali. Centro Di, Firenze, 2007.
- Brinch Madsen, Helge. Handbook of field conservation. Konservatorskolen, Det kongelige Danske Kunstakademi, Allingåbro, Danmark, 1994, Chapter Soil as a medium of preservation for artefacts, pp. 23-34.

- Brinch Madsen, Helge. Handbook of field conservation. Konservatorskolen, Det kongelige Danske Kunstakademi, Allingåbro, Danmark, 1994, Chapter Recovery techniques, pp. 47-50.
- Brinch Madsen, Helge. Handbook of field conservation. Konservatorskolen, Det kongelige Danske Kunstakademi, Allingåbro, Danmark, 1994, Chapter Pottery, glass and stone, pp. 81-85.
- Broze, Guy. "Mechanisms of soils removal". *In* Lange, K. Robert (Ed.). Detergents and cleaners, a handbook for formulators. Hanser, Munich, 1994. Chapter 2, pp. 24-41.
- Bruhin, Stefanie. Sublimation von Cyclododecan. Travail de diplôme de la Haute école ARC Arts Appliqués, filière conservation-restauration, Orientation objets archéologiques et ethnographiques, La Chaux-de-Fonds, 2008, *non publié*.
- Buys, Susan and Oakley, Victoria. The conservation and restoration of ceramics. 1st edition 1993, Butterwoth-Heinemann Ed., Oxford, 1996.
- Calderara. 240 Tremona – località Piasa: necropoli romana. Rapporto di scavo marzo – aprile 07. Mapp.526 / coordinate 717.808 – 82.215 / quota 574.85 Slm. Ufficio dei beni culturali, Bellinzona, 2007. *Non publié*.
- Calderara. 240 Tremona – località Piasa: necropoli romana. Rapporto di scavi sett. – ott. 06. Mapp.526 / coordinate 718.640 – 82.180 / quota 574.85 Slm. Ufficio dei beni culturali, Bellinzona, 2006. *Non publié*.
- Cardani Vergani, Rossana. "Ricerche archeologiche ein Cantone Ticino nel 2006". *In* Bollettino dell'Associazione Archeologica Ticinese, Numero 9, 2007. Società d'Arti Grafiche Veladini SA, Lugano, 2007, pp. 28-31.
- Cardani Vergani, Rossana. "Ricerche archeologiche ein Cantone Ticino nel 2007". *In* Bollettino dell'Associazione Archeologica Ticinese, Numero 20, 2008. Società d'Arti Grafiche Veladini SA, Lugano, 2008, pp. 26-31.
- Cardani Vergani, R. "Tremona TI, Località Piasa". *In* Niffeler, U. (dir.). Jahrbuch Archäologie Schweiz, Annuaire d'Archéologie Suisse. Annuario d'Archeologia Svizzera. Annual Review of Swiss Archaeology, Volume 91. Achäologie Schweiz, 2008, Basel, p. 208-210.
- Cardani Vergani, R. e Mosetti, L. "Tremona TI, Località Piasa". *In* Niffeler, U. (dir.). Jahrbuch Archäologie Schweiz, Annuaire d'Archéologie Suisse. Annuario d'Archeologia Svizzera. Annual Review of Swiss Archaeology, Volume 90. Achäologie Schweiz, 2007, Basel, p. 174-176.
- Carydis, P. *et al.* "The engineering behavior in reference to the petrological study of the building materials of the Knight Palace, Rhodes Island". *In* Marinos, Paul G. et Koukis, George C. (Eds). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23

- septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites historiques. Préservation et protection. Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 1007-1012.
- Casaletto, M.P. *et al.* "Chemical cleaning of encrustations on archaeological ceramic artefacts found in different Italian sites". Applied Physics A92, 2008, p. 35-42.
- Cavari, Fernanda. "Conservazione e restauro della ceramica archeologica". *In* Introduzione allo studio della ceramica in archeologia. Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Sienna, 2007. Capitolo 2, Methodologie di studio della ceramica, pp. 63-86.
- Chavigner, Françoise. "Intervention sur le terrain : le mobilier". *In* Berducou, Marie-Claude (dir.). La conservation en archéologie. Masson, Paris, 1991, pp. 54-60.
- Conrad, Wolfgang *et al.* "Freilegung von Grünpatina mit dem Laserstrahl – Die Bronzestütze des Johannes Bugenhagen in Lutherstadt-Wittenberg". Restaurio 6/1998, pp. 422-428.
- Corfield, Mike. "Preventive conservation for archaeological sites". *In* Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 32-36.
- Cox, Michael F. "Surfactants". *In* Lange, K. Robert (Ed.). Detergents and cleaners, a handbook for formulators. Hanser, Munich, 1994. Chapter 3, pp. 43-83.
- Cronyn, J. M. The elements of archaeological conservation. Routledge, London, 1990. Chapter 1, Introducing archaeological conservation, pp. 1-13.
- Cronyn, J. M. The elements of archaeological conservation. Routledge, London, 1990. Chapter 4, Siliceous and related materials: Ceramics, pp. 141-159.
- De Micheli Schulthess, Christiane. "Ceramica ed archeologia in Ticino". *In* Ceramica: testimonianza culturale, venerdì 16 marzo 2007, Trevano, Lugano. SUPSI, Dipartimento ambiente costruzione e design, Corso DACD 018, *non publié*.
- De Micheli Schultess, Christiane. "I reperti romani dalla necropoli e dal sito di Tremona". *In* Martinelli, Alfio (dir.). Tremona Castello. Dal V millennio a.C. al XIII secolo d.C. Ed. All'Insegna del Giglio, Borgo S. Lorenzo, 2008. Capitolo 7, L'epoca romana, pp. 423-444.
- Dzidowska, K. et Koszela, J. "Influence des polyélectrolytes sur l'efficacité déterminant des matériaux argileux par le processus de l'électroosmose". *In* Marinos, Paul G. et Koukis, George C. (Eds.). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23 septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites

- historiques. Préservation et protection. Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 957-961.
- Ekkehard, Fritz. Gipsumwandlungs- und Reinigungsverfahren an Wandmalereien – Möglichkeiten und Gefahren beim Einsatz von Ammoniumcarbonat. Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 9/1995, Heft 2. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 1995, pp. 366-375.
- Ekkehard, Fritz. Reinigungs- und Umwandlungsverfahren mit Ammoniumcarbonat – Möglichkeiten und Gefahren beim Einsatz an Wandmalereien. Diplomarbeit, Hildesheim Holzminden, 1992, *non publié*.
- Ettl, Hans *et al.* "Stein-Silikat-Kleber – Steinverklebungen mit Kieselgel als Bindemittel". Restauro 111/3, 2005, pp. 187-193.
- Felber, Markus *et al.*, Giorgio. Geo-Guida del Monte San Giorgio (Ticino/Svizzera-Provincia di Varese/Italia), carta escursionistica scientifico-didattica. Geoforum CH, 2000.
- Feller, R.L. and Witt, M. Evaluation of Cellulose Ethers for Conservation. The Getty Conservation Institut, USA, 1990.
- Ferretti, Marco. Scientific investigations of works of art. ICCROM, Rome, 1993.
- Filder, John. "Fragile Remains: An international review of conservation problems in the decay and treatment of architectural terracotta and faience". In Architectural Ceramics, their history, manufacture and conservation. A joint symposium of English Heritage and the United Kingdom Institute for Conservation, 22-25 September 1994. James and James Ed. English Heritage, London, 1996.
- Flutsch, Laurent et Rossi, Frédéric. La Suisse du Paléolithique à l'aube du Moyen-âge, Volume 5 : Epoque romaine. Quand la Suisse n'existait pas, Le temps des Romains. Edition Société suisse de préhistoire et d'archéologie, Bâle, 2002.
- Giannichedda, Enrico e Volante, Nicoletta. "Materiali e etniche di fabbricazione". In Introduzione allo studio della ceramica in archeologia. Dipartimento di Archeologia e Storia delle Arti, Sienna, 2007. Capitolo 2, Methodologie di studio della ceramica, pp. 3-32.
- Gibson, Alex and Woods, Ann. Prehistoric Pottery for the Archaeologist. 1st edition 1993, Leicester University Press Ed. London, 1997. Chapter 1, p. 5-25.
- Grissom, Carol A. "Conservation of Neolithic lime plaster statues from 'Ain Ghazal". In Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 70-75.



- Guillaud, Hubert. "Characterization of earthen materials". *In* Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 21-31.
- Guillemard, Denis. "La conservation à long terme des objets archéologiques". *In* Berducou, Marie-Claude (dir.). La conservation en archéologie. Masson, Paris, 1991, pp. 379-380.
- Haldemann, Marcia. Les nécropoles du Morbihan : nouveau acquis sur les pratiques funéraires des 6^e et 5^e siècles av. J.-C. Mémoire de licence en archéologie provinciale romaine à l'Université de Lausanne, Faculté des lettres, Lausanne, 2005, *non publié*.
- Haller, Ursula. Herstellung und Anwendung von Lösungsmittel-Gelen, -Pasten und -Kompressen in der Restaurierung. Diplomarbeit am Institut für Technologie der Malerei an der Staatlichen Akademie des Bildenden Künste, Studiengang: Restaurierung und Tehcnologie von Gemälden und gefassten Skulpturen, Stuttgart, 1994.
- Hartmann, Brigitte und Wiedmann, Günther. "Aufsatzsekretär mit Muscheldekoration aus dem Stadtmuseum Köln – Die Reinigung von Mollusken mittels Impulslaser". Restauo 6/1998, pp. 388-395.
- Hawley, Janet K. "Celtic finds in Basel: testing the conservator's stamina". *In* Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 76-80.
- Heilein, Katharina. "Überzüge auf empfindlichen Malschichten – Untersuchungen zum Abtragen mit unterschiedlichen Lasergeräten". Restauo 6/1998, pp. 410-415.
- Heinrich, Peter. "Ein eiserner byzantinischer Ringkettenpanzer – Lasereinsatz bei archäologische Kulturgut". Restauo 6/1998, pp. 383-387.
- Henderson, Julian. The science and archaeology of materials, an investigation of inorganic materials. Routledge Ed., London, 2000. Chapter 4, Ceramics, pp. 109-115, 127-135.
- Hildenhagen, Jens und Dickmann, Klaus. "Laser wird zunehmend von Restauratoren genutzt – Erfahrungsbericht aus dem Laserzentrum LFM über zehnjährigen Zusammenarbeit mit Restrauratoren". Restauo 114/7, 2008, pp. 466-470.
- Hiby, Gudrun. "Das flüchtige Bindemittel Cyclododecan -Materialeigenschaften und Verwendung bei der Restaurierung von Gemälden und gefassten Objekten". Restauo, 103/2, 1997, p. 96-103.
- Hodges, Henry W.M. "The conservation treatment of ceramics in the field". *In* Hodges, Henry W.M. (Ed.). In situ archaeological conservation. Proceeding of meetings, April 6-13, 1986, Mexico. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1987, pp. 144-148.

- Horie, C.V. Materials for conservation, organic consolidants, adhesives and coatings. 1st edition 1987. Butterworth Heinemann Ed., London, 2000.
- I Fahd, Mona. "Resistance of some consolidation materials to microorganisms – Paraloid B72, Primal AC33, Namex and Befix". In Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 8/1994, Heft 1. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 1994, pp. 147-149.
- Jakob-Kocher, Jeannette. "Ceramica archeologica : casi di studio e di conservazione e restauro". In Ceramica: testimonianza culturale, venerdì 16 marzo 2007, Trevano, Lugano. SUPSI, Dipartimento ambiente costruzione design, Corso DACD 018, *non publié*.
- Jeberien, Alexandra. "Cyclododecan für archäologische Funde? – Bergung stark fragmentierter Keramik der Hallstattzeit". Restauro 108/7, 2002, pp. 509-511.
- Jornet, Albert. Analyse minéralogique et chimique de la céramique romaine Suisse à enduit brillant. Travail de thèse. Institut de minéralogie et pétrographie de l'Université de Fribourg, Suisse, 1982.
- Jornet, Albert. Prodotti ceramici : aspetti tecnologici. Corso DADC 018: Ceramica: testimonianza culturale, Lugano-Trevano, 2007. *Non publié*.
- Kaenel, Gilbert *et al.* "Les ateliers de céramique gallo-romaine de Lousonna (Lausanne-Vidy VD): analyses archéologiques, minéralogiques et chimiques". In Jahrbuch der schweizerischen Gesellschaft für Ur- und Frühgeschichte Band 65. Huber & Co., Frauenfeld, 1982, p. 93-132.
- Khandekar, Narayan. Research into potential problems arising from the use of aqueous cleaning systems. In Solvent gels for the cleaning of works of arts. Dorge Valerie Ed., The Getty Conservatio Institute, Los Angeles, 2004. Chapter 2, pp. 12-17.
- Kilchhofer, M. und Scherrer, N.C. "Konservierung von Malereien auf Lehmputzen". Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 2/2008, Heft 2. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 2008, pp. 343-354.
- Krarp, Trine und Nimmrichter, Johann. "Laserstrahlen auf polychromen Steinoberflächen – Versuche zur Restaurierung des "Riesentors"". Restauro 6/1998, pp. 404-409.
- Küpfer, Theo und Magetti, Marino. "Die Terra Sigillatta von La Péniche (Vidy/Lausanne)". In Schweiz. Mineral. Petrogr. Mitt. 58, 1978, p. 189-212.
- Lauber, Wolfgang (dir.). L'architecture dogon, Construction en terre au Mali. Adam Biro, Paris, 1998.
- Laurenzi Tabasso, M. *et al.* "Consolidation of stone 1: Comparison between a treatment with a methacrylic monomer and the corresponding polymer". In Marinou, Paul G. et Koukis, George C. (Eds). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23

- septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites historiques. Préservation et protection. Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 933-938.
- Laurenzi Tabasso, M. *et al.* "Consolidation of stone 2: Comparison between treatments with a methacrylic monomer and with alkoxy-silanes". *In* Marinos, Paul G. et Koukis, George C. (Eds). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23 septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites historiques. Préservation et protection. Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 939-943.
- Lazzarini, Lorenzo è Laurenzi Tabasso, Marisa. Il restauro della pietra. CEDAM, Padova, 1989.
- Maggetti, M. "Neolithic pottery from Switzerland : raw materials and manufacturing processes". *In* Shortland, Andrew J. *et al.* From Mine to Microscope – Advances in the study of ancient Technology. Oxbow Books Eds, Oxford, 2009, p. 29-42.
- Magetti, Marino. "Mineralogisch-petrographische Untersuchung des Scherbenmaterials der urnenfeldzeitlichen Siedlung Elchinger Kreuz, Ldkr. Neu-Ulm/Donau". *In* Kataloge des Prähistorischen Staatssammlung München Nr. 19, 1979, p. 141-168.
- Magetti, Marino ung Galetti, Giulio. "Chemischer Herkunftsnachweis der "Schwarzen Sigillata" von Magdalensberg". *In* Sonderdruck aus Magdalensberg-Grabungsbericht 15, 1986, p. 391-431.
- Magetti, Marino und Kahr, Günter. "Homogenität archäologischer keramischer Objekte – TeilI. Porosität und Porenradienverteilung". *In* Sonderdruck aus Archäologie und Naturwissenschaften 2. Römisch-germanisches Zentralmuseum – Forschungsinstitut für Vor- und Frühgeschichte, Mainz, 1981.
- Mardaga, Pierre éd. Préserver les objets de son patrimoine, précis de conservation préventive. Mardaga, Sfiic, Sprimont, 2001.
- Meyer, Ch. *et al.* "Bertäge zum Geologie des Schweiz". *In* Geotechnikum Serie 63, 1984.
- Meyer, Nicole et Relier, Caroline (Coord.). Conservation des sites et du mobilier archéologiques, Principes et méthodes. UNESCO, Etudes et documents sur le patrimoine culturel, Paris, 1988. Chapitre 2, La céramique et le verre, pp. 22-33.
- Meyer, Nicole et Relier, Caroline (Coord.). Conservation des sites et du mobilier archéologiques, Principes et méthodes. UNESCO, Etudes et documents sur le patrimoine culturel, Paris, 1988. Chapitre 3, Note sur la consolidation des pierres polychromes, pp. 34-36.

- Middleton, Andrew. "Tiles in Roman Britain". *In* Freestone, Ian and Gaimster, David Eds. Pottery in the Making, world ceramic tradition. British Museum Ed., London, 1997, pp. 158-163.
- Moinat, Patrick et David-Elbiali, Mireille. Défunts, bûchers et céramiques : la nécropole de Lausanne-Vidy (VD) et les pratiques funéraires sur le Plateau suisse du XI^e au VIII^e s. av. J.-C. Cahiers d'archéologie romande, Lausanne, 2003.
- Montagu, Jean. Les secrets de fabrication des céramiques antiques. Université de Paris-Sorbonne en Art et Archéologie. Chapitre : Les céramiques romaines, la terre sigillée, pp63-72.
- Morris, Timothy C. "Hard-surface Cleaners". *In* Lange, K. Robert (Ed.). Detergents and cleaners, a handbook for formulators. Hanser, Munich, 1994. Chapter 7, pp. 165-175.
- Nishida, K. *et al.* "Chemical treatments for preservation of old tombs in Japan". *In* Marinos, Paul G. et Koukis, George C. (Eds). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23 septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites historiques. Préservation et protection. Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 899-906.
- Oeter, Martina. Reinigung von Wandmalerei und Objekten aus Stein mit Ionenaustauscherharz. Diplomarbeit, Fachhochschule Köln, 1991, *non publié*.
- Oliver, Anne. "Conservation of nondecorated earthen materials". *In* Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 108-123.
- Orton, Clive *and al.* Pottery in archaeology. 1st edition 1993, Cambridge university press Ed., Cambridge, 1997.
- Orton, Clive. *et al.* Pottery in archaeology. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. Chapter 4, Life in the pot shed, pp. 44-66.
- Orton, Clive. *et al.* Pottery in archaeology. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. Chapter 5, Fabric analysis, pp. 67-75.
- Orton, Clive. *et al.* Pottery in archaeology. Cambridge University Press, Cambridge, 1997. Chapter 11, Pottery Fabrics, pp. 132-151.
- Oshita, Toshiyuki *et al.* "Relocation and preservation of historical relics using polyisocyanate resin grout". *In* Marinos, Paul G. et Koukis, George C. (Eds). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23 septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites historiques. Préservation et protection.

- Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 891-898.
- Oudemans, Tania F.M. and Erhardt, David. "Organic residue analysis in ceramic studies: implications for conservation treatment and collections management". *In* Roy A. and Smith P. (Eds.), Archaeological conservation and its consequences, Preprints of the contributions to the Copenhagen Congress, 26-30 August 1996. ICC, London, 1996, pp. 137-142.
- Pernet, Lionel *et al.* La necropoli di Giubiasco (TI), Vol.II, Les tombes des La Tène finale et d'époque romaine. Musée National Suisse, 2006, Zürich.
- Pfister, Reto. Ionentauscher in der Konservierung/Restaurierung von Wandmalerei. HKB, Bern, 2001, Semesterarbeit SS01.
- Pignal, Bruno. Terre crue, techniques de construction et de restauration. Ed. Au pied du Mur, Paris, 2005, p. 14-15.
- Rainer, Leslie. "Deterioration and pathology of earthen architecture". *In* Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 45-61.
- Rainer, Leslie. "Conservation of decorated earthen surfaces". *In* Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 124-141.
- Reichert, Ulrike. "Reinigungsversuche an Textilien mittels Lasertechnik – Erste Erfahrungen". Restauro 6/1998, pp. 416-421.
- Rhodes, Daniel. Terres et glaçures, les techniques de l'émaillage. Ed. Dessain et Tolra, Turin, 1999. Chapitre 3, Nature physique de l'argile, pp. 16-19.
- Rhodes, Daniel. Terres et glaçures, les techniques de l'émaillage. Ed. Dessain et Tolra, Turin, 1999. Chapitre 4, Les pâtes céramiques, pp. 29-50.
- Riedl, Nicole und Hilbert, Georg. "Cyclododecan im Putzgefüge – Materialeigenschaften und Konsequenzen für die Anwendung in der Restaurierung - Materialeigenschaften und Konsequenzen für die Anwendung in der Restaurierung". Restauro 104/7, 1998, pp. 494-499.
- Roberts, Paul. "Mass-Production of Roman Finewares". *In* Freestone, Ian and Gaimster, David Eds. Pottery in the Making, world ceramic tradition. British Museum Ed., London, 1997, pp. 188-193.
- Ronc, Maria Cristina (coord.). Agli Dei Mani, Da una necropoli di Augusta Praetoria. Aspetti del rituale funerario. MAR – Museo archeologico regionale d'Aosta, Quart, 2008.

- Rudolph, Pascale *et al.* "Laserreinigung von Pergament und Papier – Experimente an Modellsystemen und historischen Originalen". Restauro 6/1998, pp. 396-403.
- Sattler, L. and Snethlage R. "Durability of stone consolidation treatments with silicic acid ester". *In* Marinos, Paul G. et Koukis, George C. (Eds). Comptes-rendus d'un symposium international organisé par le groupe national grec de l'Aigi, Athènes, 19-23 septembre 1988. La géologie de l'ingénieur appliqué aux travaux anciens, monuments et sites historiques. Préservation et protection. Volume 2, 2 Géologie de l'ingénieur et pierres de construction des monuments, 3 Sciences de la terre et exploration archéologique. Marinos & Koukis Eds, Rotterdam, 1988, pp. 953-956.
- Shekede, Lisa. "Laser für Reinigung und Freilegung von Wandmalerei – Möglichkeiten und Gefahren". Restauro 103/3, 1997, pp. 172-177.
- Sindlinger-Maushardt, Kathrin und Petersen, Karin. "Methylcellulose als Klebemittel für die Malschichtfestigung auf Leinwandbildern – Untersuchungen zur Klebkraft und zur microbiellen Resistenz". Zeitschrift für Kunsttechnologie und Konservierung, Jahrgang 21/2007, Heft 2. Wernersche Verlagsgesellschaft, Worms am Rhein, 2007, pp. 371-382.
- Singley, Katherine. The conservation of archaeological artifacts from freshwater environments. Association of Great Lakes Maritime History, Lake Michigan Maritime Museum, South Haven, Michigan, 1988. Chapter Ceramics, pp. 17-21.
- Singley, Katherine. The conservation of archaeological artifacts from freshwater environments. Association of Great Lakes Maritime History, Lake Michigan Maritime Museum, South Haven, Michigan, 1988. Chapter Reagent, solvents and resins, pp. 90-95.
- Slaton, Deborah and Normandin, Kyle C. Masonry Cleaning Technologies. *In* Cleaning Techniques in Conservation Practice. Donhead Ed. Shaftesbury, 2005, pp. 7-29.
- Stanley, Ted. A tool for pressure sensitive tape removal: The AirPencil. The Book and Paper Group Annual, AIC Annual Meeting, 1998. <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v17/bp17-16.html>, (Consulté le 21.07.2010)
- Stancliffe, Martin *et al.* St Paul's Cathedral. *In* Cleaning Techniques in Conservation Practice. Donhead Ed. Shaftesbury, 2005, pp. 87-103.
- Stuart, Barbara. Analytical techniques in materials conservation. Wiley Ed., London, 2007.
- Stulik, Dusan and Wolbers, Richard. "Project outcome, spin-offs, and future research needs". *In* Solvent gels for the cleaning of works of arts. Dorge Valerie Ed., The Getty Conservatio Institute, Los Angeles, 2004. Chapter 7, pp. 131-145.

Tissier, Frédérique-Sophie. Le cyclododécane en archéologie : tests et applications pratiques. Master II Conservation Restauration des Biens Culturels, Objets Archéologiques, Université de Paris1 Panthéon-Sorbonne, U.F.R 03 Histoire de l'Art et Archéologie, Paris, 2007, *non publié*.

Velde, Bruce. "Identification des sources de l'argile dans les céramiques". In Dossiers d'archéologie. Archéométrie, les sciences appliquées à l'archéologie, 2000, n°253, pp. 24-29.

Velde, Bruce. "Clay Minerals". In Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 1-7.

Velde, Bruce. "Geology of clays and earthen materials". In Avrami, Erica *et al.* (Eds.). Terra Literature Review, An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 2008, pp. 8-14.

Vergès-Belmin, Véronique. "Laser für die Reinigung von Notre-Dame in Paris? – Im Vergleich mit Microsandstrahlen und Ammoniumcarbonat-Kompressen". Restauo 102/6, 1996, pp. 420-425.

Wagner, Wolf-Dieter. "Reinigung mit dem Nd:YAG-Laser – Funktionprinzip". Restauo 6/1998, p. 382.

Warren, John. Conservation of Earth structures. Butterworth-Heinemann Ed., Oxford, 1999. Chapter 2, Constituent materials, pp. 40-60.

Warren, John. Conservation of Earth structures. Butterworth-Heinemann Ed., Oxford, 1999. Chapter 5, Evaluation, preparation, testing and replacement of materials, pp. 99-111.

Witiak, David. "Polymer Functions". In Lange, K. Robert (Ed.). Detergents and cleaners, a handbook for formulators. Hanser, Munich, 1994. Chapter 5.2, pp. -114-118.

Wolbers, Richard. Cleaning painted surfaces, aqueous methods. Archetypes publications, London, 2000.

Sites internet :

PSA PROPERTY ENHANCER, 2008 : Article tools, PSA Property Enhancer, http://www.adhesivesmag.com/Articles/Feature_Article/BNP_GUID_9-5-2006_A_1000000000000406208, consulté le 15 juillet 2010.

SITE DE ARTEMUNDIT, 2010 (EN LIGNE) : Arte Mundit®, <http://www.artemundit.com/artemundit.asp>, consulté le 13 juillet 2010.

http://www.wallner-wasser.at/de/downloads/Amberlite_IR_120_H.pdf, consulté le 27 juillet 2010.

www.kremer-pigmente.de, consulté le 27 juillet 2010.

www.lascaux.ch, consulté le 27 juillet 2010.

APPENDICE VIII : REPERTOIRE

1. LISTE DES PRODUITS / MATERIAUX

Type / Nature du produit	Nom commercial	Fournisseur
Acide acétique Acide organique		Hänseler AG
Acide citrique Acide organique		Hänseler AG
Acide polyacrylique Agent épaississant.	Carbopol®	Kremer Pigmente GmbH & Co
Alcool polyvinylique Consolidant, adhésif	Mowiol®	Lascaux Colours & Restauro
Bicarbonate de sodium Agent nettoyant.		Fluka Chemie GmbH
Brique (terre cuite) Support de tests.		Coop Bau + Hobby
Complexant Agent nettoyant.	Calgon®	Coop city
Cyclododécane Consolidant temporaire.		Deffner & Johann GmbH
Dispersion acrylique Consolidant, adhésif	Plextol® B500 Primal® WS24	Kremer Pigmente GmbH & Co
EDTA disodique Complexant, agent nettoyant.		Fluka Chemie GmbH
Ether de cellulose : hydroxypropylcellulose Agent épaississant, consolidant, adhésif.	Klugel® G	Kremer Pigmente GmbH & Co
Ether de cellulose : méthylhydroxyéthyle de cellulose Agent épaississant, consolidant,	Tylose®	Kremer Pigmente GmbH & Co

adhésif.		
Flocons de coton Agent épaississant.		Suter Swiss composite group
Hydrogénocarbonate d'ammonium Agent nettoyant.		Fluka Chemie GmbH
Mousse polyéthylène Conditionnement		Digipack AG
Papier japon Papier en fibres de cellulose. Papier intermédiaire.		Lascaux Colours & Restauro
Pulpe de cellulose Agent épaississant.	Arbocel® BWW 40	CTS Suisse SA
Résine acrylique Copolymère d'éthyle métacrylate soluble dans l'acétone et le toluène principalement. Consolidant, adhésif.	Paraloid® B72 Paraloid® B72 (tube)	Lascaux Colours & Restauro Suter Swiss composite group
Résine échangeuse d'ions cationiques Agent nettoyant.	Amberlite® IR-120	CTS Suisse SA
Sépiolite Terre de Sommière, argile. Agent épaississant.		CTS Suisse SA
Silice pyrogénée hydrophile Agent épaississant,	Aérosil® produit par Dégussa	Suter Swiss composite group
Textile de conditionnement	Tyvek®	Avila AG
Toluène Solvant organique apolaire		Fluka Chemie GmbH
White spirit Solvant organique apolaire		Fluka Chemie GmbH

2. LISTE DES FOURNISSEURS

Fournisseur	Adresse	Internet
Avila AG	Huebstrasse 11 CH – 8633 Wolfhausen Tel. + 41 (0)55 253 00 00 Fax. + 41 (0)55 253 00 04	Site : www.avila.ch Email : info@avila.ch
Coop city	Alpenstrasse 8 CH – 6300 Zug Tel. + 41 (0)41 711 61 71	
Coop Bau + Hobby	Hinterbergstrasse 8 CH – 6330 Cham Tel. + 41 (0)41 747 20 60	
CTS Suisse SA	Via Carvina 1 CH – 6807 Taverne (TI) Tel. +41 (0)91 945 38 30 Fax : +41 (0)91 945 38 31	Site : www.ctseurope.com Email : cts.suisse@ctseurope.com
Deffner & Johann GmbH	Mühläcker Str. 13 D – 97520 Rötthlein bei Schweinfurt Tel. + 49 (0)97 23 / 93 50-0 Fax : + 49 (0)97 23 / 93 50-25	Site : www.deffner-johann.de Email : info@deffner-johann.de
Fluka Chemie GmbH	CH – 9471 Buchs Tel. + 41 (0)81 755 28 28	Site : www.sigma-aldrich.com
Hänseler AG	Industriestrasse 35 CH – 9101 Herisau Tel. + 41 (0)71 353 58 58	Site : www.synpharma.ch Email : info@haenseler.ch
Kremer Pigmente GmbH & Co (Représentant suisse chez Thymos AG)	Niederlenzer Kirchweg 1 CH – 5600 Lenzburg Tel. + 41 (0)62 892 44 66 Fax : + 41 (0)62 892 44 65	Site : www.kremer-pigmente.com Email : info@thymos.ch
Lascaux Colours & Restauo	Zürichstrasse 42 CH – 8306 Brüttisellen Tel. + 41 44 807 41 41 Fax. + 41 44 807 41 40	Site : www.lascaux.ch Email: info@lascaux.ch
Suter Swiss composite group	Bernfeldweg 4	Site : www.swiss-composite.ch

Suter-Kunststoffe AG	CH – 3303 Jegenstorf Tel. + 41 (0)31 763 60 60 Fax : + 41 (0)31 763 60 61	Email : info@swiss-composite.ch
-----------------------------	---	--

3. LISTE DES LABORATOIRES ET INSTITUTIONS CONSULTES

Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana (SUSPI)

Instituto Materiali e Constuzioni (IMC)

CH-6825 Canobbio

Tel. +41 (0)58 666 63 61 – Fax: +41 (0)58 666 63 59

Ufficio die Beni Culturali (UBC)

Via Franscini 30A

CH-6500 Bellinzona

Tel. +41 (0)91 814 13 80 – Fax: +41 (0)91 814 13 89

Museum für Urgeschichte

Hofstrasse 15

CH-6300 Zug

Tel. +41 (0)41 728 28 80 – Fax: +41 (0)41 728 28 81

Département des Géosciences de Fribourg

Route du Musée 4

CH-1700 Fribourg

Tel. +41 (0)26 300 90 10 – Fax: +41 (0)26 300 90 46

ADB: Archäologischer Dienst des Kantons Bern

Service archéologique du canton de Berne

Brünnenstrasse, 66

CH-3018, Bümpliz, Switzerland

Adresse postale:

Postfach 5233, 3001 Bern

Tél. 031 633 98 21/22, Fax 031 633 98 20

4. LISTE DES FIGURES

Toutes les images sont de Laura Andrey ©HECR Arc, sauf mention contraire.

Fig. 1 : Effervescence des parties calcaires de la terre	1
Fig. 2 : Classement des granulats (Pignal, 2005, p.15).....	2
Fig. 3 : Aréomètre servant à mesure la densité de l'eau terreuse.....	2
Fig. 4 : Moulage de la terre d'enfouissement	
Fig. 5 : Cuisson des éprouvettes de terre	5
Fig. 6 : Retrait des éprouvettes après cuisson	
Fig. 7 : Eprouvettes cuites à 700°C, 800°C et 900°C	6
Fig. 8 : Quartz en blanc-gris.....	7
Fig. 9 : Feldspath en blanc et en noir complètement.....	7
Fig. 10 : Muscovite en lamelle arc-en-ciel.....	7
Fig. 11 : Biotite en lamelles brunes.....	8
Fig. 12 : Argile en grumeaux bruns.....	8
Fig. 13 : Présence de terre (en-haut) sur la surface de la céramique (microscope avec un seul polarisateur)	
Fig. 14 : Présence de terre (à droite) sur la tranche (microscope avec un seul polarisateur)	9
Fig. 15 : Minéraux disparaissant ou apparaissant à une certaine température (Jornet, 2007, p.23).....	10
Fig. 16 : Terre d'enfouissement, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg	11
Fig. 17 : Eprouvette cuite à 700°C, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg.....	12
Fig. 18 : Eprouvette cuite à 800°C, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg.....	12
Fig. 19 : Eprouvette cuite à 900°C, composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg.....	13
Fig. 20 : Tesson du pot (rep.11), composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg	14
Fig. 21 : Tesson de la coupe (rep.12), composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg	15
Fig. 22 : Tesson du vase (rep.14), composition minérale, Analyse XRD, ©Département des Géosciences de Fribourg.....	16
Fig. 23 : Couche noire sur la surface interne.....	18
Fig. 24 : Couche gris foncé –brun sur la surface externe.....	18
Fig. 25 : couche blanc-gris sur la surface externe	18
Fig. 26 : Couche brun foncé sur la surface externe	19
Fig. 27 : Couche gris-blanc sur la surface externe	19
Fig. 28 : Corps céramique.....	19

Fig. 29 : Cristaux blancs sur la surface externe	20
Fig. 30 : Dépôts orange-jaune sur la surface interne	20
Fig. 31 : Soulèvements sur la surface interne	20
Fig. 32 : Echantillon de la terre d'enfouissement	21
Fig. 33 : Eprouvette de terre cuite à 700°C	21
Fig. 34 : Eprouvette de terre cuite à 800°C	21
Fig. 35 : Eprouvette de terre cuite à 900°C	21
Fig. 36 : Pot (rep.11), couche brun foncé, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI	22
Fig. 37 : Pot (rep.11), couche gris foncé, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	22
Fig. 38 : Pot (rep.11), couche blanc-gris, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	23
Fig. 39 : Coupe (rep.12), couche brun foncé, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	23
Fig. 40 : Coupe (rep.12), couche gris-blanc, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	24
Fig. 41 : Coupe (rep.12), corps céramique, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	24
Fig. 42 : Vase <i>a trottola</i> (rep.14), cristaux blancs, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI	25
Fig. 43 : Vase <i>a trottola</i> (rep.14), taches orange-jaune, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI ...	25
Fig. 44 : Vase <i>a trottola</i> (rep.14), soulèvements gris, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	26
Fig. 45 : Terre crue (d'enfouissement), composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI.....	26
Fig. 46 : Eprouvette cuite à 700°C, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI	27
Fig. 47 : Eprouvette cuite à 800°C, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI	27
Fig. 48 : Eprouvette cuite à 900°C, composition minérale, Analyse FTIR, ©SUPSI	28
Fig. 49 : Nettoyage sur le pot avec cataplasme de bicarbonate de sodium. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau à gauche et à l'airbrush à droite, pré-consolidé.	37
Fig. 50 : Nettoyage sur le pot avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau, non pré-consolidé à gauche, pré- consolidé à droite.....	37
Fig. 51 : Nettoyage sur le pot avec cataplasme d'échangeur d'ions. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau, non pré-consolidé.	37
Fig. 52 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate de sodium. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau, pré-consolidé à gauche, et non pré-consolidé à droite.....	38
Fig. 53 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium. A gauche, Avant traitement ; à droite, après les tests de nettoyage chimique.	38
Fig. 54 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate d'ammonium. A gauche, tesson après nettoyage au pinceau, non pré-consolidé ; à droite, tesson après nettoyage au pinceau pré-consolidé.....	38
Fig. 55 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme d'échangeur d'ions. A gauche, avant traitement ; au centre, après les tests ; à droite, tesson après nettoyage à l'airbrush à gauche, au pinceau à droite, non pré-consolidé. La couche brune restant est la terre, alors que la couche rouge-brun est l'engobe de la céramique	38

Fig. 56 : Nettoyage sur le pot modelé main avec cataplasme de bicarbonate de sodium, avec pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur les décors. 39

Fig. 57 : Nettoyage sur le pot modelé main avec cataplasme de bicarbonate d’ammonium, avec pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur les décors. 39

Fig. 58 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate de sodium, sans pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur l’engobe..... 39

Fig. 59 : Nettoyage sur la coupe avec cataplasme de bicarbonate d’ammonium, avec pré-consolidation. A gauche, avant traitement ; au centre, après nettoyage ; à droite, gros plan sur la surface, avec quelques brèves d’engobe. 40

5. LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Acidité de la terre.....1

Tableau 2 : Masse volumique de l’eau en rapport avec sa température3

Tableau 3 : Identification des minéraux sous microscope polarisant (avec polarisateurs croisés).....7

Tableau 4 : Liste des échantillons analysés en FTIR..... 18

Tableau 5 : Tableau des propriétés du cyclododécane 29

Tableau 6 : Tableau des propriétés du Paraloïd® B72 29

Tableau 7 : Tableau des propriétés du Plextol® B500..... 29

Tableau 8 : Tableau des propriétés de la Primal® WS24.....30

Tableau 9 : Tableau des propriétés du Mowiol® 4-98..... 30

Tableau 10 : Tableau des propriétés de la Klucel® G 30

Tableau 11 : Tableau des propriétés du Tylose® MH2000 31

Tableau 12 : Tableau des propriétés de l’Amberlite® IR 120H 31

Tableau 13 : Tableau des propriétés du Carbopol® 31

Tableau 14 : Tableau des propriétés de l’Aérosil® 32

Tableau 15 : Réactions et pH des produits de nettoyage mélangés aux différents gélifiants 33

Tableau 16 : Réactions des consolidants avec les produits après 5 heures d’application..... 35