

**RAPPORT DE STAGE DE  
FORMATION A L'ETRANGER**

**LE STAGIAIRE / :**

**NOM ET PRENOM: IDJOUADIENE LYNDA**

**INSCRIT EN : 5eme Année**

**DEPARTEMENT : Chimie**

**NOM ET PRENOM DU DIRECTEUR DE LA THESE: Mostefaoui A. Toufik.**

**LE STAGE/ :**

**LIEU : Laboratorio DIART- Diagnostica per l'arte du Département de physique de l'Université de Milan-Italie. (Universita Degli studi di Milan, Italia)**

**DUREE et PERIODE : Trois mois du 03 Septembre 2019 au 01 Décembre 2019**

**Les Objectifs du Stage**

- ✓ Poursuivre des cours de formation sur l'archéométrie et sur les méthodes d'analyses statistique appliquées aux résultats d'analyses physico-chimiques.
- ✓ Initiation au travail de préservation et restauration des œuvres d'art
- ✓ Compiler une base de données FORS libre compatible avec le logiciel Spectragryph
- ✓ Finalisation de mes seconds et troisièmes articles et avancement de la thèse.
- ✓ Discussion des perspectives des travaux de recherches avec nos collaborateurs.

**Les travaux réalisés :**

Ce stage a été supervisé sous la direction de ma co-directrice de thèse : Dr. **Letizia Bonizzoni** qui m'a accueilli dans son laboratoire a l'université de Milan Italie.

Durant ce stage nous avons pu élaborer un plan de travail pour mieux organiser le déroulement du des travaux entrepris :

A mon arrivée Nous nous sommes focalisés beaucoup plus sur la discussion du plan de ma thèse afin de mettre en ordre tous les points à citer et les chapitres importants à choisir pour la rédaction de la thèse.

Par ailleurs, afin d'arriver à bien discuter mes résultats et avoir la facilité et la maîtrise de la rédaction, j'ai assisté régulièrement aux cours dispensés à l'Université de Milan au sein du laboratoire. En effet, j'ai eu la chance de travailler avec eux sur d'autres techniques d'analyse en archéométrie, je cite la radiographie et UV-IR false color appliquées à des peintures du 17<sup>ème</sup> siècle. Par chance, j'ai eu l'occasion d'apprendre l'application de technique XRF sur les ossements antiques et de comprendre la discussion des résultats élémentaires de ces derniers.

Parallèlement aux cours et aux analyses effectués, nous avons soulevé un point très important dans nos résultats, et c'est la rédaction du deuxième article scientifique sous le titre de :

**'XRF analysis of ancient Numidian coins: a comparison between different kingdoms''.**

Cette étude consiste en la détermination des alliages utilisés pour les pièces de plusieurs royaumes nord-africains du III<sup>e</sup> siècle av. J.-C. Les résultats obtenus nous permettent d'approfondir nos connaissances sur la production de monnaies dans les villes numides. L'analyse par la fluorescence X a été appliquée à 69 pièces de monnaie anciennes, émises dans différentes villes numides. Nous nous sommes concentrés particulièrement sur deux royaumes numidiens rivaux: les Masaesyli en Numidie

occidentale, gouvernés par le roi Syphax et les Massylii en Numidie orientale, placés sous le roi Massinissa. Une partie des pièces de ce dernier royaume sont à base de **plomb**, tandis que le reste des échantillons sont des alliages à base de **cuivre**. Pour comparer la production de différents royaumes, nous avons effectué des analyses de groupes hiérarchiques (HC) et d'analyses en composantes principales (PCA). En effet ces deux méthodes statistiques nous permettent de bien éclaircir nos résultats obtenus ; Les échantillons sont clairement divisés en trois groupes: le premier comprend toutes les pièces de Massinissa riches en **plomb (jusqu'à 98%)**, le second comprend les pièces de **bronze**, avec divers rapports de **cuivre**, de **plomb** et d'**étain** et le second indique une présence plus élevée de **cuivre** des traces comme le **plomb** et l'**étain**. *Ces résultats révèlent une homogénéité et une cohérence incontestables avec les informations archéologiques, au fil de l'évolution technologique et historique.* En outre, les données analytiques obtenues permettent de prendre en compte que l'analyse globale des données *confirme la présence de deux types d'alliages, à base de cuivre et à base de plomb.*

De plus, j'ai eu la chance de participer au:

**“Training Workshop on Instrumentation for Synchrotron Radiation Experiments, Trieste, Italy  
7–11 October 2019”**

L'événement est organisé dans le cadre de l'accord de partenariat conclu entre l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et **Elettra Sincrotrone**, Trieste. Durant cette formation, on a eu l'opportunité d'étudier trois différents **beamline (XRF, XRD et XAFS)** et de plus, on a suivi des essais d'analyse sur ces trois derniers (on a fait des tests sur des métaux, des tissus, de la poussière et des verres antique...etc.) afin de comprendre et d'avoir des connaissances sur les beamlines et leur fonctionnement sur différents échantillons à analyser. Sans oublier les cours de sécurité qui ont été entrepris dès le départ.

Je cite les personnes rencontrées et qui m'ont permis d'avoir des contacts pour de futures collaboration :

- **Alessandro Migliori**, Division of Physical and Chemical Sciences, Department of Nuclear Sciences and Applications, IAEA, Vienna.
- **Giuliana Aquilanti**, Ph.D, Head of XAFS beamline Elettra – Sincrotrone, Trieste.
- **Jasper Plaisier**, Head of MCX beamline Elettra - Sincrotrone Trieste.

Le but de cette formation est de nous permettre d'avoir des connaissances et de réfléchir à de futurs projets en collaboration avec Elettra-Sincrotrone de Trieste et IAEA. Je me suis inspirée des différentes techniques que nous avons utilisé afin de réfléchir à une proposition sur :

**“ L'études des encres ferrogaliques anciens avec les beamlines XRF et XAFS afin d'étudier les degrés d'oxydation du fer et du cuivre de ces ancrs aux cours des siècles”.**

A mon retour de la formation qui s'est déroulée à Trieste, nous avons travaillé sur les conclusions des travaux entrepris sur l'études des encres et des pigments utilisés par des scripts dans la collection de manuscrits "Afniq n Ccix Lmuhub". Par contre, ce travail de recherche a commencé depuis mon stage effectuer en Juin 2017, en raison de manque de documentation et l'expérience sur les techniques de bases de production des ancrs en Algérie au moyen âge nous n'avons pas eu l'occasion de les achever. Pour identifier les encres et les pigments utilisés par les scribes, nous avons utilisé plusieurs techniques non invasives telles que la fluorescence X, la réflectance des fibres optiques FORS et la spectroscopie Raman. Alors que la XRF donne des informations sur la composition élémentaire des pigments et des



encres, les analyses FORS et Raman permettent l'identification directe du pigment. Heureusement, ce stage nous a permis de bien approfondir nos recherches dans l'étude de ces encres et ces pigments. D'où il était une grande opportunité pour compléter ce travail. La discussion des résultats XRF sont impressionnantes, ces dernières nous ont permis de distinguer les différents éléments présents sur le papier et l'ancre/pigments utilisés ; grâce aux spectres XRF du papier et ceux d'un pigment présent sur le même type de papier, nous avons procédé à la soustraction des éléments appartenant au papier et de déduire les éléments réellement présents dans les encres ou pigments utilisés pour la décoration ou l'écritures.

Concernant les résultats FORS, avec l'aide du **Dr. Marco Gargano**, j'ai eu la facilité de bien distinguer les différents spectres FORS de chaque couleur et surtout on a pu expliquer certains spectres qui sont compliqués tels que les spectres de mélanges de certains pigments et sans oublier de prendre en considérations le reflet de la lumière sur le papier qui cause un décalage de certains résultats par rapport aux résultats de références. Pour finir, les résultats de la spectroscopie Raman effectuées en Algérie au centre de recherche des technologies avancées (CDTA) avant mon départ en stage, sont discutées avec nos collaborateurs afin de conclure sur les résultats XRF et FORS pour déduire les véritables compositions chimiques du pigment/ancres étudiés. Ces précieux résultats et discussions font l'objet de mon troisième article qui est en cours de soumission ; sous le nom :


**" The first application of non-invasive techniques on Algerian heritage manuscripts "**

Pour finir ce point sur les travaux réalisés, je note aussi que durant tout le stage avec ma co-directrice Dr. **Letizia Bonizzoni**, nous avons revu la rédaction de ma thèse et faire en sorte de conclure certains chapitres.

**Les résultats obtenus :**

- Création d'une base de données sur les différents métaux existant dans l'Antiquité en Afrique du nord et la confirmation de la présence de deux types d'alliages, à base de cuivre et à base de plomb.
- Soumission de mon deuxième article qui est en cours de l'études sur le Journal : Archeological and Anthropological Science.
- Création d'une base de données sur les différents ancres/pigments présents dans les manuscrits Algérien.
- Finalisation du troisième article qui sera soumis prochainement au Journal : Microchemical.
- Avancement de la thèse (on est à la phase des corrections et possibilité de dépôt pour la soutenance en mois de Février 2020.)

**SIGNATURE DE STAGIAIRE**

ISOJOUADIENE Lynda  


**VISA DU LABORATOIRE D'ACCUEIL**



**IL DIRETTORE**  
**Prof. Giovanni Onida**

