Laboratoire CRISMAT
6 bd Maréchal Juin
14000 Caen
UMR6508

Département Mesures Physiques
bd Maréchal Juin
14000 Caen

Rapport de stage

Maintenance d'un microscope électronique à balayage

Du 24 Avril 2017 au 30 Juin 2017

TROUBAT Maxime
IUT de Caen
Département Mesures Physiques
Promotion 2015-2017

Tuteur Académique:
Jean-Christophe BALOCHE
Directeur étude des 1ère année
IUT Mesures Physiques

Maitre de stage:
Xavier LAROSE
Ingénieur d'étude
CNRS

Remerciements

Je tiens à remercier Mr LAROSE Xavier qui m'a permis d'effectuer ce stage de 10 semaines dans la plateforme de microscopie électronique du CRISMAT.

Je souhaite aussi remercier BALOCHE Jean Christophe pour m'avoir aidé avec les impressions 3D.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à Mr.RETOUX Richard pour avoir repondu à touts mes questions sur le monde de la recherche et de la microscopie.

Un grand merci à tout aux équipes du CRISMAT pour m'avoir accueilli.

Résumé-Abstract

Le laboratoire CRISMAT possède de nombreux microscopes éléctroniques, dont un XL30 qui ne fonctionne plus à cause de plusieurs engrenages qui sont usés. Le but de ce stage était de redessiner ces pièces puis de les imprimer avec l'imprimante 3D présente dans les locaux de l'IUT MESURES PHYSIQUES. Ce stage sert aussi à montrer l'importance de cette nouvelle technologie dans la réparation de pièces déjà existante ou de formation de nouvelles pièces pour de nouveaux besoins.

The CRISMAT labatory owns differents scanning electron microscopy and transmission electron microscopy, including a XL30 which is not working because of gears damaged. The aim of this work was to modelise the gears, and print with 3DPrinter . This stage can show this abilities of this new technology in reparation or formation of new gears.

Sommaire

Remerciements 02

Résumé/Abstract.....03

Sommaire 04

Introduction.....06

Présentation du laboratoire..... 07

I. Le laboratoire et ses tutelles 07

1. CRISMAT.....07

2.Les tutelles 08

II. La plateforme microscopie.....09

Maintenance du XL-30.....11

I.Principe théorique du fonctionnement d'un MEB.....11

1.le canon.....11

2.les lentilles.....13

3. les informations reçues.....14

II.Changement des engrenages déffectueux.....15

1.engrenage de l'axe Z.....16

2.engrenage de l'axe Y et de la rotation.....21

Conclusion.....25

Bibliographie/Sitographie.....26

table des figures

Figure 1 : Organigramme du CRISMAT

Figure 2: logo CNRS

Figure 3: logo UNICAEN

Figure 4: logo ENSICAEN

Figure 5 : plan du parc technique microscopie éléctronique du batiment CNRT

Figure n°6: Schema canon Tungstène

Figure n°7: Pointe FEG(field emission gun)

Figure n°8: élément issu de l'interaction électron-matière

Figure n°8: Vue du dessus du porte-échantillon

Figure n°9: Imprimante RAISE 3D N2+

Figure n°10: Photo du dessous de la platine

Figure n°11: photo de face de l'engrenage axe Z

Figure n°12: Dimension de l'engrenage hélicoïdale

Figure n°13: Premiere modélisation de l'engrenage Z

Figure n°14: Essai de modélisation (dent pointue / dent arrondie)

Figure n°15: Impression de l'engrenage hélicoïdale

Figure n°16: Engrenage final utilisé dans le microscope

Figure n°17: Ensemble des engrenages hélicoïdaux et l'orignal

Figure n°18: Engrenages pour l'axe Y et la rotation

Figure n°20: Tableau des dimensions des engrenages

Figure n°21:engrenage module 0,7

Figure n°:22engrenage module 0,8

Figure n°23:engrenage module 0,9

Figure n°24:engrenage module 1

Figure n°25:comparaison entre le nouveau et l'ancien engrenage

Introduction

Pour valider ma formation à l'IUT Mesures Physiques de Caen, un stage de 10 semaines minimum est à réaliser. C'est dans ce cadre que j'ai pu obtenir cette première expérience professionelle lié à mes études. J'ai réalisé ce stage dans le service microscopie du laboratoire CRISMAT.

Le but de ce stage était de réparer un microscope éléctronique à balayage (XL30 FEI) en effet des engrenages de la platine étaient usés. L'usure des engrenages empêchait les mouvements de la plaque où repose l'échantillon. L'appareil n'était donc pas fonctionel. Le fournisseur arrête la fabrication et l'approvisonement de pièces sur ce modèle cette année.

La maintenance du microscope se fera par le changement d'engrenages, les nouveaux engrenages seront des copies modéliser puis imprimer avec une imprimante 3D mis à disposition par l'IUT Mesures Physiques de Caen. Afin d'améliorer la qualité de la pièce imprimé, des tests sur l'imprimante ont été effectuer pour trouver le moyen d'avoir une pièce précise qui correspond aux atttentes.

Ce stage permet de montrer les capacités de l'impression 3D dans le monde de la recherche pour l'entretien de certains appareils, réalisation de nouveaux projets, mais aussi les limites liés à la précision de l'imprimante, du type de plastique utilisé comme base, et de logiciels de modélisation utilisé par un néophyte.

Ce rapport va présenter le microscope XL30 avec le fonctionnement de sa platine, les différents engrenages à changer, les méthodes de mesures, les modelisations de ces pièces puis le rendu et les tests sur l'appareil.

Présentation du laboratoire CRISMAT

Le laboratoire de Cristallographie et Sciences des Matériaux (CRISMAT) est une unité mixte de recherche (UMR) de l'ENSICAEN, de l'Université de Caen Normandie et du CNRS. Sa vocation est de contribuer à l'innovation technologique, dans les domaines de l'énergie et des technologies de l'information et de la communication.

I. Le laboratoire et ses tutelles :

1. Le CRISMAT :

Le CRISMAT a d'abord été une Unité de Recherche Associée (URA) fondée par Professeur Raveau en 1986 puis devenu UMR en 1996. Le laboratoire est rattaché aux Instituts de Chimie et de Physique du CNRS. Le laboratoire est divisé en 4 équipes de recherche : Nouveaux matériaux : fondements, fonctionnalités (NMF2), Hétérostructures et oxydes à propriétés électroniques (HOPE), Physique et Structures d'Oxydes Magnétiques (PSOM) et Matériaux Fonctionnels et de Structure (MFS).

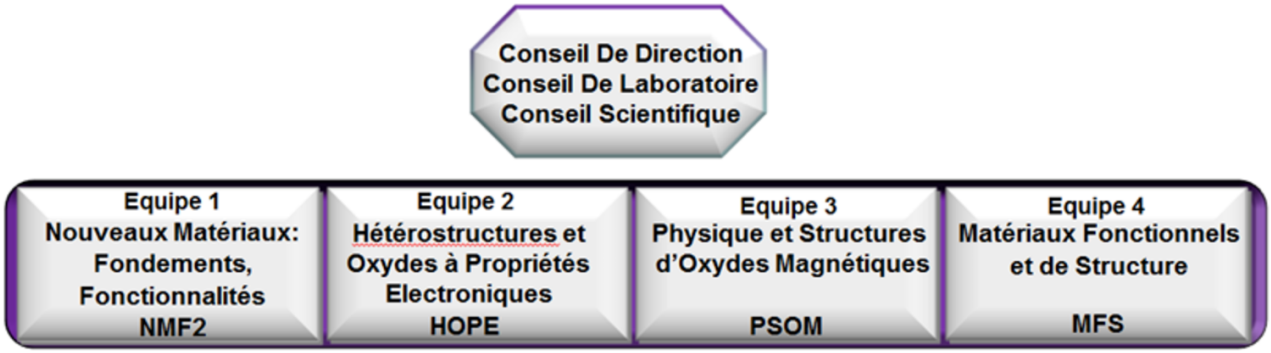


Figure 1 : Organigramme du CRISMAT

En 2017, le CRISMAT est composé de 34 Professeurs et Maîtres de conférences, 21 ITA/BIATSS(ingénieurs, techniciens, administratifs), des 37 doctorants, 8 post doctorats , 25 Master . Actuellement il y a 126 personels permanents.

Mon stage a été effectuer dans le parc technique de microscopie. Cette partie du laboratoire sert de contrôle final sur les échantillons produits par les différentes équipes du laboratoire CRISMAT. La microscopie électronique au CRISMAT est utilisée par 15 permanents spécialistes et 50 non permanents. Ces appareils très techniques et honéreux permettent de contôler la structure cristalline de matériaux pour s'assurer de la bonne stochiometrie de ceux-ci. Certains permettent d'atteindre des échelles atomiques permettant de valider des projets. Ce parc technique nécessite un entretien journalié. Richard RETOUX (IR hors classe) et Xavier LAROSE (IE 2nd classe- maître de stage) se relaient pour coordoner les maintenances de ces appareils, former les utilisateurs et réaliser certaines demandes internes ou externes du laboratoires

2. Les différentes tutelles du CRISMAT :

Le laboratoire CRISMAT est sous la tutelle de 3 institutions publiques: CNRS, l'ENSICAEN et l'université de Caen.

a) Le CNRS

le Centre National de la Recherche Scientifique est un établissement public sous la tutelle du Ministère de l'éducation national, de l'enseignement supérieur et de la recherche. Ce organisme a été fondé en 1939 pour coordonner l'activté scientifique en vue de tirer un rendement scientifique plus élévé. Le CNRS participe aux financements et recutrements de personels, matériels.

Figure 2: logo CNRS

b) L'Université de Caen

L'Université de Caen (UNICAEN) est une université francaise possèdant 43 unités de recherche dont 22 unités mixtes avec le CNRS,l'INRA (Institut National de la Recherche Agronomique) et le CEA (Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives).Elle participe aux financements et recrutements du personel.

Figure 3: logo UNICAEN

c) L'ENSICAEN

L'Ecole National Supérieur d'Ingénieur de Caen est une école d'ingénieur, on trouve dans ses locaux un centre de recherche regroupant un ensemble de 7 laboratoires. On retrouve le CRISMAT mais également le Centre de Recherche sur les Ions, les Matériaux et la Photonique (CIMAP), le Groupe de Recherche en Informatique, Image, Automatique et Instrumentation (GREYC), le Laboratoire de Microélectronique et de Physique des Semi-conducteurs (LAMIPS), le Laboratoire de Chimie Moléculaire et Thio-organique (LCMT), le Laboratoire Catalyse et Spectrochimie (LCS) et le Laboratoire de Physique Corpusculaire (LPC).

Figure 4: logo ENSICAEN

On trouve également le CNRT Matériaux (Centre National de Recherche Technologique), cette plateforme permet de lier l'industrie et la recherche afin de résoudre des problématiques indutrielles, effectuer des contrôles (utilisations des microscopoes éléctroniques). Pour des raisons techniques, le parc se trouve au rez-de-chaussés.

II. Le parc technique de microscopie éléctronique

Cette partie du batiment du CNRT a été construite spécialement pour l'utilisation de microscopes éléctroniques.

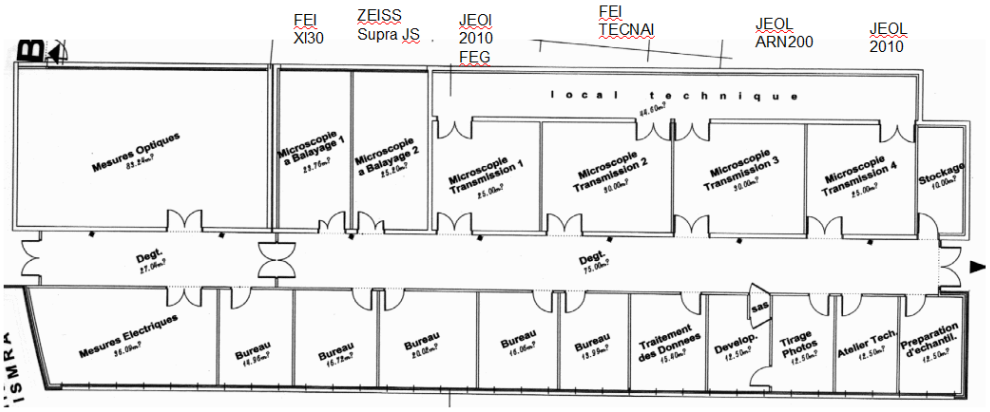


Figure 5 : plan du parc technique microscopie éléctronique du batiment CNRT

Le parc possède 6 microscopes éléctroniques (2 microscopes éléctroniques à balayage -MEB- et 4 microscopes éléctroniques à transmission -MET-). Le microscope qui nous intéresse pour ce stage est le XL30, c'est un microscope éléctronique à balayage.

L'extension du batiment prévu pour la microscopie électronique a pu être pensée pour optimiser au maximum les conditions de travails ainsi que les performances des appareils. La capacité de grandissement de certains microscopes les rend sensible à la moindre pertubation. C'est pour ces raisons que toutes les salles sont régulées en température, équipés de compensateurs de champs magnétiques (cage de faraday, où le champ magnétique est nul), des tapisseries phoniques, des dalles antivibrations. Ces conditions de travails sont indispensables pour exploiter au mieux les appareils.

En parallèle de cela, Richard RETOUX et Xavier LAROSE ont crée un pôle de préparation d'échantillons dédié à la microscopie électronique. A ce jour, 2 techniciens les ont rejoint pour compléter l'activité autour des différents appareils.

Maintenance du XL30

Le XL30 est le plus ancien microscope du service, il a été acquis dans les années 90 par le CRISMAT. Actuellement, un MEB avec ses performances coûte environ 400 000 euros. Cet appareil n'a pas été utilisé pendant de nombreuses d'années, puis le parc microscopie a investi dedans en changeant le canon (pièce qui émet les éléctrons). Cependant il n'est pas opérationel, en effet, des engrenages du porte-échantillon sont usés et ne fonctionnent plus.

A chaque manipulation, le MEB effectue un calibrage de la platine du porte-échantillon, les engrenages étant usés cette calibration est impossible, on ne peut donc pas utiliser ce microscope. 5 engrenages seraient mis en cause, en moyenne un engrenage coûte dans les 3000 euros (vendu par le fabriquant).

De part son âge, ce microscope est le seul du parc n'ayant de contrat de maintenance avec son fourniseur ce qui rend son entretien plus délicat. De plus, le fournisseur ne fabrique plus de pièce pour ce microscope depuis le début de l'année.

En parallèle de cela, le CRISMAT se prépare actuellement à investir dans une nouvelle machine permetant d'explorer d'autres activités telles que le chauffage et la traction in situ associé à l'observation en images des matériaux.

Après diagnostique de la platine, c'est dans ce cadre que m'a été proposé de modéliser ces engrenages puis utilisé une imprimante 3D, méthode performante et peu onéreuse.

I. Principe théorique du fonctionnement d'un MEB :

1. le canon:

Un source émet des électrons. Ces éléctrons émis vont percuter les éléctrons de l'échantillons. A partir de cela de nombreuses informations vont être récu par des capteurs présents dans le MEB. Ces informations permettent d'obtenir une image, la nature des composés présents dans l'échantillon, la répartition des éléments dans l'échantillon.

Le canon peut être un filament de tungstène ou un cristal LaB6, ces matériaux sont choisis pour leur faible travail de sortie (énergie nécessaire pour extraire un éléctron de la cathode). Comme pour une ampoule incandescante, c'est avec l'effet joule que l'energie pour extraire les éléctrons est apporterée.

Une différence de potentiel entre l'anode et la cathode (le filament de tungstène) va permettre d'augmenter la vitesse de l'éléctron. Cette méthode s'appele l'émission thermoïonique.

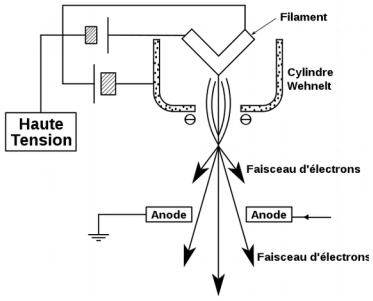


figure n°6: Schema canon Tungstène

Il existe une deuxième méthode d'émission d'éléctron (utilisé par notre MEB).
Le canon à émission de champ est une méthode qui utilise une cathode qui a une forme de pointe extrement fine.

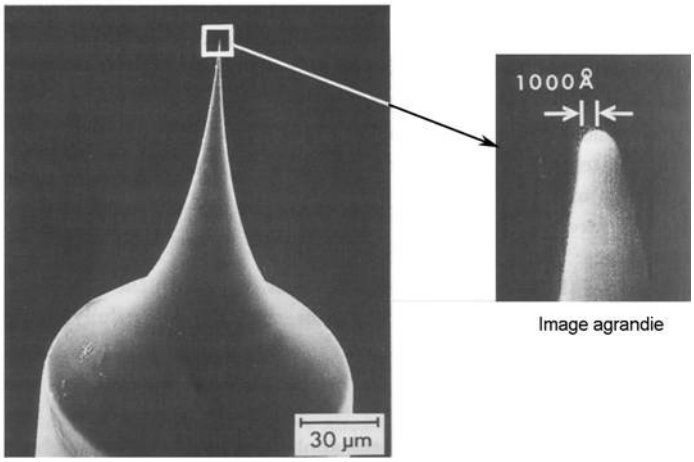
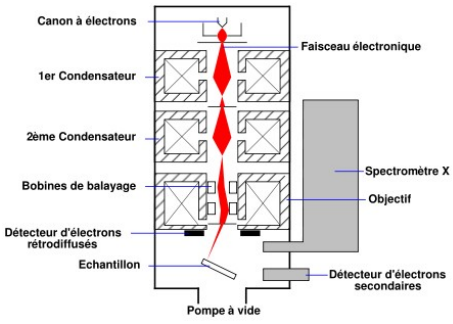


Figure n°7: Pointe FEG (field emission gun)

Un champ magnétique va se former entre l'anode et la cathode, par effet tunnel des électrons vont être arrachés. L'effet tunnel est une propriété d'objet quantique, il peut franchir une barrière de potentiel, même avec une énergie inférieur à l'énergie minimale requise en théorie.

L'électron émi suit une trajectoire normal à la surface de la pointe (dans la méthode précédante les éléctrons sont émis dans toutes les directions , le cylindre de Wehnelt permet d'imposer une direction).

2. les lentilles:



Les lentilles permettent d'obtenir une meilleure résolution, de faire la mise au point au sur l'échantillon. Si jamais l'éléctron diverge, le champ magnétique formé par ces lentilles permet de modifier la trajectoire et permettre l'interaction éléctron-échantillon.

3. les informations réçus:

L'interaction entre les éléctrons émis par la source et ceux de l'échantillon permettent de capter un certains nombre d'informations.

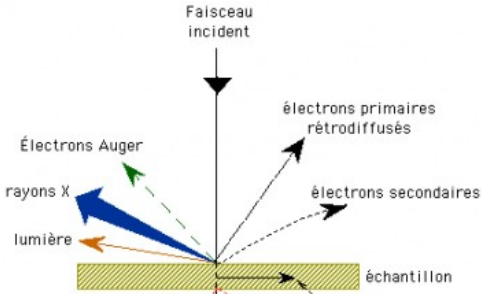


Figure n°8: élément issu de l'interaction électron-matière

Les éléctrons émis par la source sont des électrons dit primaires , les éléctrons arrachés à l'échantillons sont des électrons dit secondaires.

a)Les électrons primaires rétrodiffusés:

Les électrons primaires peuvent interagir avec des éléctrons de l'échantillons mais aussi des noyaux. Quand cela arrive l'éléctron primaire pert une légére quantité d'énergie (l'éléctron possède une energie élévée). L'analyse en retrodiffusion quantifie l'energie des éléctrons primaires rétrodiffusés. En fonction de la nature du noyau, l'éléctron aura une certaine énergie. On peut ainsi déterminer le contraste de phase avec l'analyse en rétrodiffusion.

Plus l'atome est lourd (son nombre de masse élevé), plus il y a d'électrons retrodiffusés.

b) Les éléctrons secondaires:

Un électron primaire va ceder son énérgie aux éléctrons secondaires à la surface de l'échantillon, on va obtenir une ionisation (éjection de l'éléctron) de l'électron secondaire.

Pour un éléctron primaire, on peut avoir l'émission de plusieurs électrons secondaires.

La ionisation d'un atome entraine un changement de sa configuration éléctronique comme par exemple l'émission de rayon X (un éléctron change de couche éléctronique, il émet un photon X pour avoir la bonne energie de la couche). Un capteur à rayon X permet de déterminer la nature chimique du composé.

Les capteurs à éléctrons secondaires permettent de renseigner sur la topographie de l'échantillon, on observe les variations de surfaces (variation de quantité d'éléctrons collectés).

II. Changement des engrenages déffectueux:

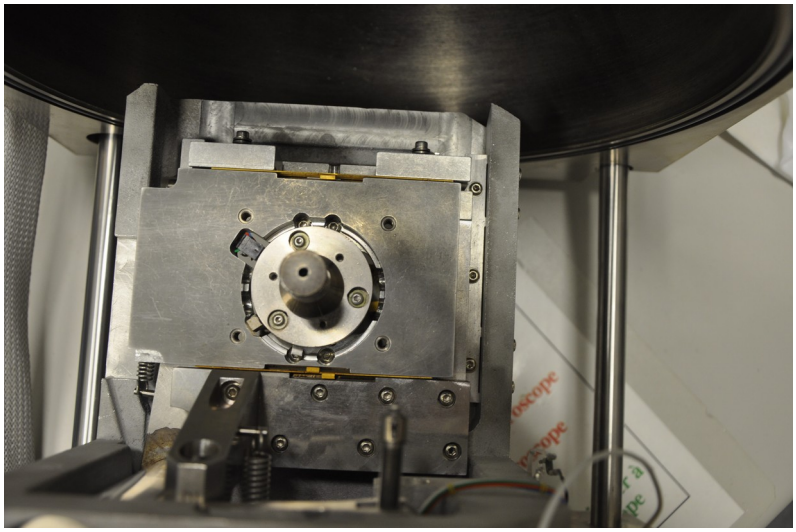


Figure n°8: Vue du dessus du porte-échantillon

La platine du porte-échantillon se deplace selon les axes X,Y,Z. Il y a aussi un système de rotation du plateau où repose l'échantillon. Les engrenages défectueux concernent les axes Y, Z et la rotation.

Avant de démonter le porte échantillon, des recherches dans la documentation du XL30 ont été effectuées afin d'essayer de trouver des plans détaillés des engrenages pour avoir les dimensions des pièces avant usures. Cependant aucune information pertinante n'a pu être trouvée dans les documents. Les dimensions des pièces devront être determinées par des instruments de mesure (pieds à coulisse, scanner 3D).

Pour réaliser l'impression 3D, l'IUT nous donne accès à leur imprimante, il s'agit du model RAISE3D N2+. Le plastique utilisé est du PLA, c'est un polymère (acide polylactique) qui est moins résistant que de l'ABS(acrylonitrile butadiène styrène). Cependant avec ce polymère les pièces ont une qualité d'impression supérieur. Vu la taille des pièces, la précision prime sur la résistance de l'engrenage. La résolution de cette imprimante est de 0,1 mm.

Figure n°9: Imprimante RAISE 3D N2+

1.engrenage axe Z :

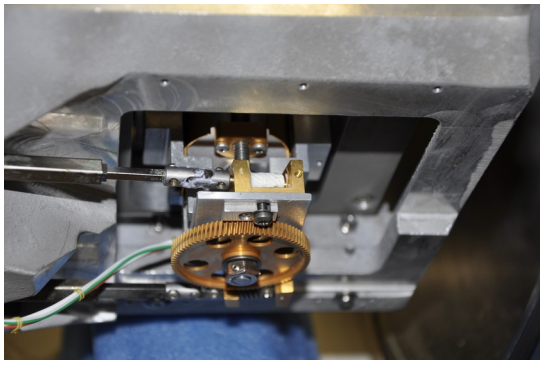


figure n°10: Photo du dessous de la platine

L'engrenage de l'axe Z a été le premier à être changé. Il est l'engrenage qui a subit le plus d'usure. Sur la figure n°10, on peut observer l'engrenage blanc en plastique de nature inconnu qui sert à faire monter le plateau. Cet engrenage fait tourner une roue dentée en métal, c'est cette interaction qui a participé à l'usure prématurée de la pièce.

a)Mesure et modélisation

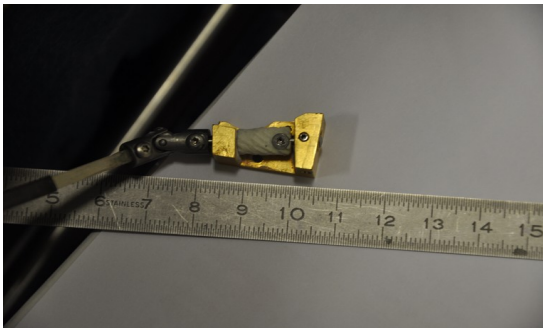


Figure n°11: photo de face de l'engrenage axe Z

Avec l'aide d'un pied à coulisse, on a pu obtenir une idée des dimensions de l'engrenage. La résolution du pied à coulisse est de 0,02mm cependant l'imprimante 3D a une résolution de 0,1mm. Un calcul d'incertitude sur ces dimensions n'est pas pertinant pour la réalisation du model et son impression.

Nombre de dents	10
Hauteur de l'engrenage	1,012 cm
Diamètre de l'arbre	0,496 cm
Largeur de l'engrenage	0,644 cm

figure n°12: Dimension de l'engrenage hélicoïdale

Avec le logiciel *SOLID WORK 2017 pro*, un premier essai de modélisation a pu être effectué, cependant les dimensions de la pièce mesurées par le pied à coulisse correspondent à des mesures faussées par l'usure. Le laboratoire ne possédant pas de licence, j'ai travailler sur mon ordinateur personel avec une licence d'évaluation.

La hauteur des dents n'a pas été choisi de manière spécifique. Cet essai correspondait surtout à une découverte de la modélisation.

N'ayant aucune formation lié à ce logiciel, j'ai du suivre des conseils fournis par

SOLIDWORK et la communauté de modélisation présente sur internet. Personne dans le laboratoire n'a des compétences en modélisations je n'ai pu obtenir de l'aide sur cette partie du stage.

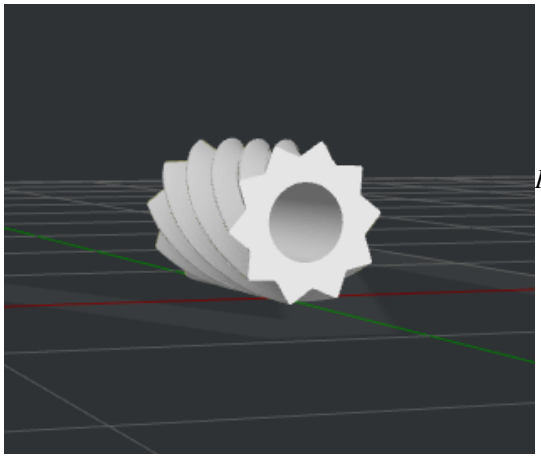


Figure n°13: Premiere modélisation de l'engrenage Z

Suite à des recherches sur les engrenages, j'ai découvert des formules qui permettent de trouver les dimensions, nombre de dents d'un engrenage hélicoïdale. Cependant la nature de la pièce étant inconnu il est impossible de determiner précisement son module (quotient du pas exprimé en millimètre par le nombre π).

$$m = 2{,}34 \times \sqrt{\frac{Ft}{k \times Rpe}}$$

Ft: module de la force tangentielle en newton
k: coefficient de la largeur de la denture, compris en 6 et 10
Rpe: résistance plastique du matériau de la dent en megapascal

Avec le module, on peut retrouver:

-le pas p=m* π
- la hauteur de la dent: h=2*m en millimètre

En mesurant le diamètre du cylindre externe, on peut trouver son périmètre.Connaisant le périmètre (P) et le nombre de dent, on retrouve le pas de l'engrenage (p).

$P_{cercle}=2*\pi*r_{cylindre}=2*\pi*3,22$ (mm)

$P_{cercle}= 20,23$ mm

$$p=\frac{P}{Nbr\ dent} = \frac{20,23}{10} = 2,0 \text{ mm}$$

Le pas de cette engrenage est de 2,023mm. Le pas d'un engrenage correspond à la distance séparant deux roues dentés (équivalent de la longueur d'onde).

$$m=\frac{p}{\pi} = \frac{2,03}{\pi} = 0,64 \text{ mm}$$

On trouve un module théorique de 0,64 mm.

La hauteur des dents correspond à 2 fois la valeur du module (en mm).

Cette engrenage a des dents qui ont une hauteur de 1,28 mm.

Ces formules proviennent du *guide du dessinateur industriel Chevalier.*

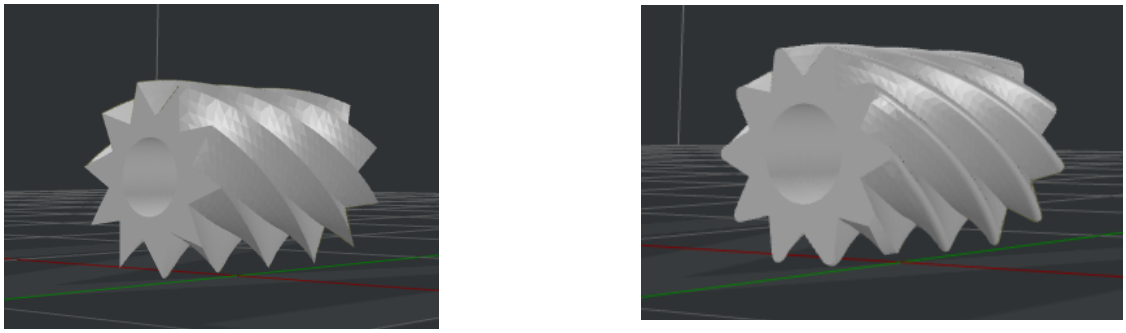


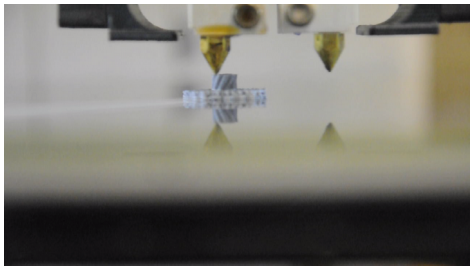
Figure n°14: Essai de modélisation (dent pointue / dent arrondie)

Pour améliorer la solidité des dents, j'ai fais le choix d'utiliser des dents arrondies plûtot que des dents droites .

b)Impression

Via un logiciel d'interface ordinateur-imprimante *IDEAMAKER*, la pièce modélisée par SOLIDWORK va être analysée. Il faut vérifier la faisabilité de la pièce, une réparation automatique est proposé par le logiciel. L'impression de l'engrenage est rapide et simple. Pour cet engrenage, l'impression dure 24 minutes .

On utilise du PLA 1,75 mm de diamètre.



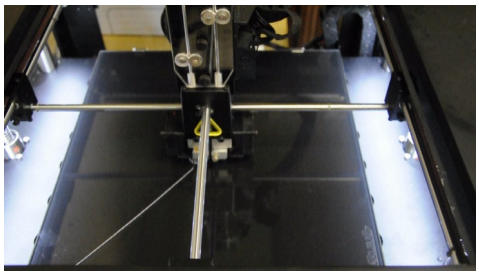


figure n°15: Impression de l'engrenage hélicoïdale

c) Amélioration de la pièce imprimée:

figure n°16: Engrenage final utilisé dans le microscope

Pour améliorer la qualité des dents, j'ai utilisé des limes diamentées et du papier abrasif. Ces modifications ne sont pas très précises et non reproductibles.

J'ai aussi effectué des tests en modifiants la température de la buse de l'imprimante et la vitesse d'impression. Ces 2 facteurs sont liées entre eux, en augmentant la température, le PLA est moins visqueux, il s'écoule plus vite , la vitesse d'impression doit être augmentée pour éviter des défauts .

Cependant par manque de temps, un couple de valeur température/vitesse donnant une meilleure qualité d'impression n'a pas pu être trouvée. Le rendu actuel est suffisant pour faire fonctionner l'engrenage.

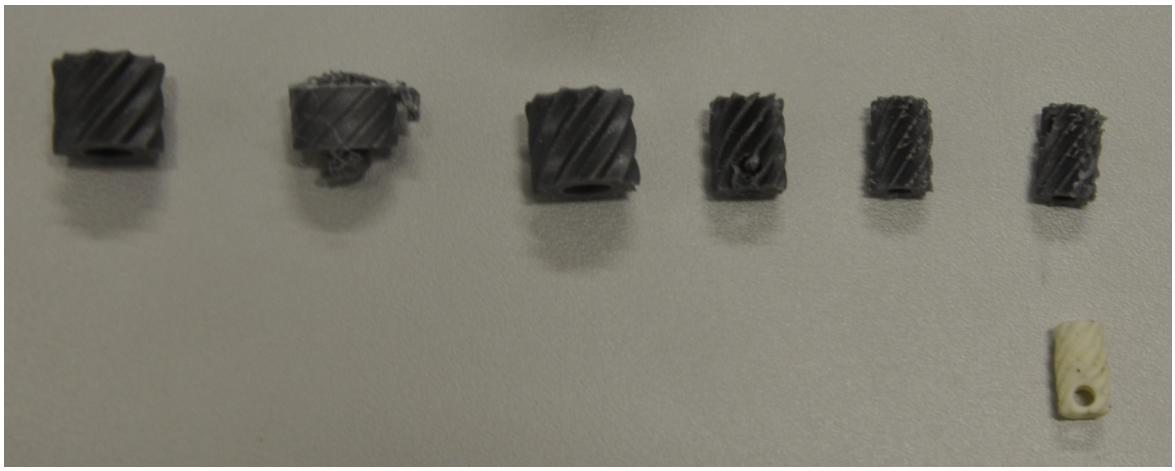


figure n°17: Ensemble des engrenages hélicoïdaux et l'orignal

Après avoir remontré la platine avec le nouvel engrenage, le mécanisme pour faire varier le porte-échantillon selon l'axe Z est fonctionel. Cependant ce blocage de la platine a déclenché un système de protection, et tordu un fusible mécanique au niveau de l'axe de rotation dans le porte-échantillon.

Ce problème a été diagnostiqué par un réparateur de FEI venu pour un autre microscope.

Pour aplatir la pièce nous avons utilisé des outils de précisions comme un marteau et une presse mécanique. Ensuite nous avons ressoudé les parties (au cours du stage, nous avons dû refaire ces manipulations, ces réparations ne sont donc pas très fiable).

2.engrenage axe Y et rotation :

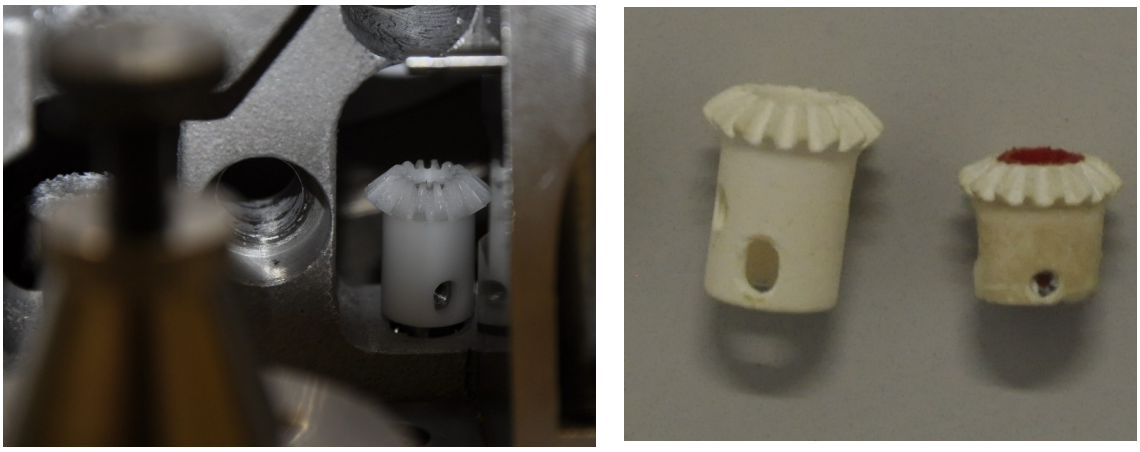


figure n°18: Engrenages pour l'axe Y et la rotation

Il y a deux engrenages coniques à dentures droites par axes qui interagissent l'un avec l'autres. Sur ces quatres engrenages, celui de la photo de gauche est un engrenage qui a été récupéré. Ses dents sont différentes des trois autres engrenages. Sinon les engrenages ont le même type de dents, le même nombres de dents (16).

Pour cet engrenage, j'ai essayé d'utiliser un scanner 3D pour obtenir une une modélisation . Après une après midi d'essais non concluant, j'ai préféré réutilisé *SOLIDWORK*. La taille de l'engrenage n'est pas compatible avec le scanner 3D et sa couleur est réfléchissante.

a)Mesure et modélisation

Diamètre de l'arbre	0,5 cm
Largeur du cylindre	1 cm
Hauteur du "grand" engrenage	1,5 cm
Hauteur du "petit" engrenage	1 cm

figure n°20: Tableau des dimensions des engrenages

Pour la partie mécanique des engrenages, une bibliothèque de SOLIDWORK permet d'avoir les dents . Il y a différents paramètres pour dessiner ces dents:

- angle de l'engrenange: 14°
-nombre de dents : 16
-le module: impossible à determiner dans ce cas même avec le pas

J'ai donc modélisé plusieurs engrenages avec des modules allant de 0,7 à 1 pour comparer ensuite avec les originaux.

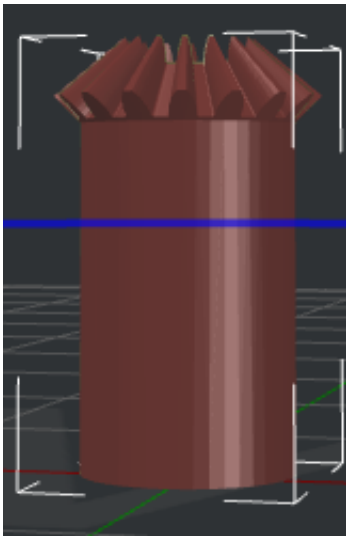


figure n°21:engrenage module 0,7

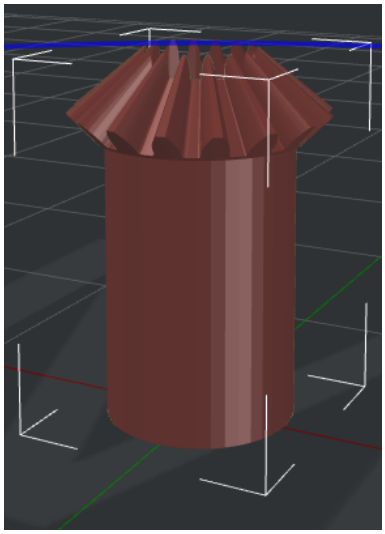


figure n°:22engrenage module 0,8

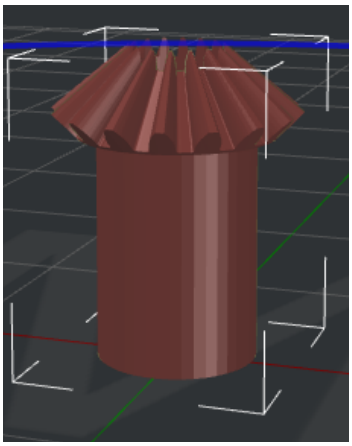


figure n°23:engrenage module 0,9

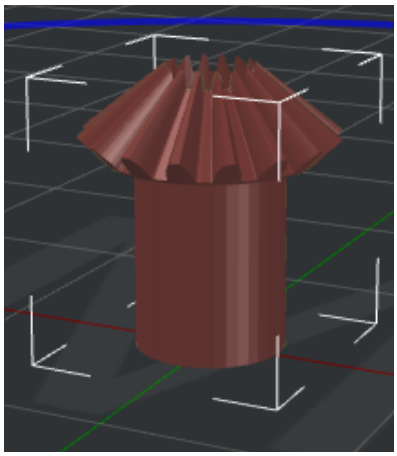


figure n°24:engrenage module 1

La hauteur de la pièce est la même, seule change la taille des dents. Après une observation au microscope photonique, j'ai choisi d'utiliser l'engrenage avec un module de 0,8.

2)Impression des engrenages:

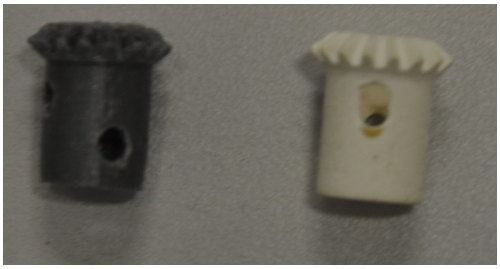


figure n°25:comparaison entre le nouveau et l'ancien engrenage

Comme pour l'engrenage précédant, on utilise du PLA, les paramètres de l'imprimante restent identiques. La durée d'impression est plus importante, pour chaque engrenage il faut 58 minutes.

Pour la finition des dents, on utilise aussi des limes et du papier abrasif.

On découpe deux engrenages pour avoir une hauteur de 1,5cm et les deux autres ont une hauteur de 1cm. Pour le découpage, on a essayé un appareil utilisé lors de la préparation d'échantillon. Il faut une heure pour découper la pièce.

Après avoir remonter les 4 engrenages, tous les axes fonctionnent parfaitement. Les engrenages imprimés en 3D sont fonctionels.

Conclusion :

Au début du stage, il n'y avait aucune certitude de réussite. L'imprimante n'était pas utilisée pour des réparations d'appareil complexe ou des pièces de petits tailles, mais plutôt pour des objets décoratifs de grande taille.

Suite aux différentes tentatives, le mécanisme de la platine est de nouveau fonctionel cependant d'autres problèmes sont apparus dû à l'ancienté de l'appareil.

Cependant ce stage a mis en évidence l'importance de cette nouvelle technologie qu'est l'impression 3D dans l'industrie ou la recherche. J'ai pu découvrir l'univers de la modélisation avec ses limites comme les compétences lié à l'utilisation de logiciel, ou technologiques comme la précision de l'appareil, le type de plastique avec ses propriétés physiques.

J'ai aussi été initié au monde la microscopie électronique, avec ses pouvoirs de résolutions qui sont époustouflant, en MET nous pouvons observer les sutructures cristallines .

Sitographie/Logiciel:

-Wikipédia: Microscopie électronique/ Canon à électron

-Schéma

-Guide du dessinateur CHEVALIER

-SOLIDWORKS forum

- Logiciel SOLIDWORK PRO 2017

- Logiciel IDEA MAKER