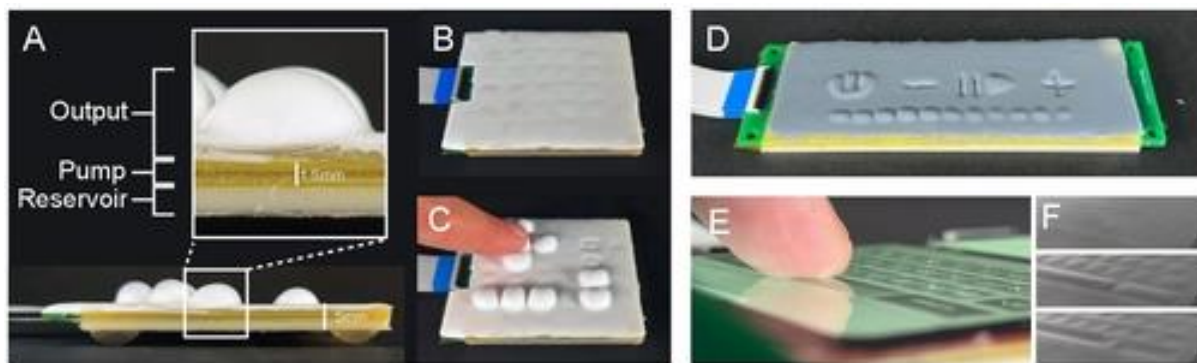


Etudiant : Muhammad Nur Sharmaine BIN SUHERTO

Soutenance orale : 24 juin 2025

Rapport de stage de 2ème année de BUT **GMP 2024/2025**



La fabrication d'une mini pompe électroosmotique

Entreprise :

Institut Sciences Du Mouvement

Lieu de stage : Laboratoire ISM

Site : IUT Aix-Marseille

Département : ISM équipe SBI

413 Avenue Gaston Berger, 13100

Aix-En-Provence

Tuteur entreprise : Loïc TADRIST

Université :

Institut Universitaire de Technologie
(IUT) d'Aix-Marseille Université

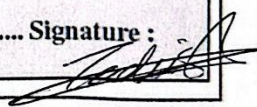
Département : Génie Mécanique Et
Productique

413 Avenue Gaston Berger, 13100

Aix-En-Provence

Tuteur universitaire : Rémy
MAZOYER

1. La fiche d'identité et de confidentialité

| FICHE D'IDENTITE ET DE CONFIDENTIALITE | |
|---|---|
| Année 2024/2025 | |
| STAGIAIRE : Muhammad Nur Sharmaine BIN SUHERBTO | |
| TITRE : La fabrication d'une mini pompe électroosmotique | |
| RESUME : Stage visant à créer et tester une mini pompe électroosmotique qui peut être utilisée pour fournir un retour haptique. Inspiré par les plantes où changement de la pression de turgescence entraîne une modification des propriétés mécaniques | |
| Nombre de pages : Nombre de références bibliographiques : | |
| ENTREPRISE : Aix-Marseille Université | |
| Président directeur général : Eric BERTON | |
| Nombre d'employés : 8000 personnes | |
| Domaine d'activité : Education et Recherche | |
| Adresse : | |
| Téléphone : Télécopie : | |
| Tuteur industriel : Loïc TADMIST | |
| Fonction : Professeur de L'IUT | |
| Mail : loic.tadrist@univ-amu.fr Téléphone : +33 413 94 63 93 | |
| PARTIE A REMPLIR PAR LE TUTEUR INDUSTRIEL | |
| Accessibilité de ce rapport (entourer la mention correcte) : | |
| <input checked="" type="radio"/> LIBRE | <input type="radio"/> CONFIDENTIEL pendant..... an(s) |
| Date : 17/06/2025 | Nom du stagiaire : BIN SUHERBTO Signature :  |

2. Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier la directrice de l'ISM, Mme Martine PITHIOUX, de m'avoir accueilli au sein de son équipe pour ces huit semaines de stage. Je tiens également à remercier M. Loïc TADRIST, mon tuteur professionnel, pour son aide précieuse dans l'obtention de ce stage, sa confiance, la clarté de ses explications et les missions qu'il m'a confiées, qui m'ont permis de développer mes compétences et de mieux comprendre le fonctionnement d'un bureau d'études et d'un atelier. Cette expérience a été particulièrement enrichissante, tant sur le plan technique que professionnel.

Je remercie également M. Rémy MAZOYER, mon tuteur universitaire, pour son encadrement rigoureux, ses conseils avisés et sa disponibilité. Son soutien hebdomadaire a été précieux pour le bon déroulement de ce stage et la rédaction de ce rapport.

Mes remerciements vont aussi à M. Guillaume WOLFF, M. Florent BOUDERLIQUE ainsi qu'aux autres techniciens du GMP pour leur assistance constante lors de l'utilisation des machines et pendant la phase de conception, pour leur soutien et leurs explications tout au long du stage.

Je tiens également à exprimer ma gratitude à M. Paul LACORRE pour son implication active aux côtés de M. Loïc TADRIST, pour m'avoir aidé à bien comprendre les tâches et pour nos discussions constructives ainsi que pour son aide dans la réalisation de ce rapport.

Enfin, j'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble de l'équipe pédagogique du département GMP de l'IUT d'Aix-Marseille, pour la qualité de leur enseignement et leur accompagnement tout au long de ma formation. Je remercie tout particulièrement M. Laurent CORNUEAU, chef de département, ainsi que M. Nicolas SANCHEZ, pour leur aide précieuse dans ma recherche de stage et pour les conseils qu'ils m'ont apportés lors des différents suivis, notamment concernant la rédaction de ce rapport.

3. Table des matières

| | | |
|-------|--|----|
| 1. | La fiche d'identité et de confidentialité | 2 |
| 2. | Remerciements | 3 |
| 3. | Table des matières | 4 |
| 4. | Introduction | 5 |
| 5. | Partie I : Présentation de l'entreprise | 6 |
| i. | Cadre du stage | 6 |
| (a) | L'Institut des Sciences du Mouvement | 6 |
| (i) | Présentation générale..... | 6 |
| (ii) | Activités et domaines de recherche | 6 |
| (iii) | Partenaires et bénéficiaires..... | 6 |
| (iv) | Structure juridique et organisation..... | 7 |
| (b) | L'Equipe Systèmes Bio Inspirés (SBI)..... | 7 |
| (c) | L'ANR Mexp | 8 |
| 6. | Partie II : Rapport Technique | 9 |
| i. | Mise en contexte de la mission..... | 9 |
| ii. | Les démarches prévisionnelles et réalisées | 10 |
| (a) | Les démarches prévisionnelles | 10 |
| (b) | Les démarches réalisées | 11 |
| iii. | Développement des phases de la mission | 12 |
| (a) | Phase 1 : Recherche Bibliographie | 12 |
| (b) | Phase 2 : Obtention des produits (Commandes et Achats) | 16 |
| (c) | Phase 3 : Préparation à la fabrication (CAO/FAO) | 18 |
| (d) | Phase 4 : Prototypage et tests..... | 21 |
| (e) | Phase 5 : Finalisation | 28 |
| iv. | Bilan de l'étude : Conclusion Technique..... | 32 |
| 7. | Partie III : Rapport PPP..... | 33 |
| 8. | Conclusion Générale et Personnelle | 35 |
| 9. | Bibliographie et Webographie | 36 |
| 10. | Glossaires | 36 |
| 11. | Annexes | 37 |

4. Introduction

Dans le cadre de ma formation en Bachelor Universitaire de Technologie (BUT) Génie Mécanique et Productique à l'IUT d'Aix-Marseille, j'ai effectué un stage de fin de deuxième année d'une durée de huit semaines, du 22 avril au 13 juin 2025. Ce stage, obligatoire pour la validation de mon année, m'a permis de mettre en pratique les compétences acquises durant ma formation tout en découvrant le monde de la recherche appliquée.

Grâce à M. Loïc TADRIST, professeur à l'IUT, j'ai eu l'opportunité d'intégrer l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM), un laboratoire de recherche situé à Marseille, spécialisé dans l'étude du mouvement humain et végétal et des technologies associées. Ce centre regroupe des chercheurs issus de domaines variés tels que la biomécanique, la robotique et l'ingénierie.

Durant mon stage, j'ai été chargé de développer une mini pompe électroosmotique pour dispositifs de retour haptique. Mon rôle consistait à concevoir et à prototyper cette pompe, en adéquation avec les besoins du projet. Pour ce faire, j'ai utilisé plusieurs outils de conception assistée par ordinateur tels que Fusion 360 et CATIA, ainsi que des équipements de fabrication mécanique disponibles en atelier, tels que des machines CNC pour le fraisage et le tournage.

Cette expérience m'a permis de renforcer mes compétences en conception, prototypage et fabrication, tout en découvrant l'environnement pluridisciplinaire d'un laboratoire de recherche. Elle m'a également sensibilisé aux défis techniques et scientifiques associés à la miniaturisation et à l'intégration de composants mécaniques dans des systèmes complexes.

Ce rapport présentera dans un premier temps le contexte et l'environnement de travail dans lequel j'ai évolué. Ensuite, je détaillerai les missions réalisées et les étapes de développement de la mini pompe. Enfin, je conclurai par une réflexion sur les apports de cette étape, tant sur le plan technique que personnel.

5. Partie I : Présentation de l'entreprise

i. Cadre du stage

(a) L'Institut des Sciences du Mouvement

(i) Présentation générale

L'Institut des Sciences du Mouvement Étienne-Jules Marey (ISM) est une Unité Mixte de Recherche (UMR 7287) associant Aix-Marseille Université et le CNRS. Il regroupe environ 150 membres, incluant chercheurs, enseignants-chercheurs, ingénieurs, doctorants et personnels techniques. L'ISM est réparti sur plusieurs sites : le campus de Luminy, l'Hôpital Sainte-Marguerite, la Faculté de Médecine de la Timone, et l'IUT d'Aix-en-Provence.

Depuis sa création, l'ISM s'est imposé comme un acteur majeur de la recherche interdisciplinaire sur le mouvement, que ce soit chez l'humain, l'animal ou dans les systèmes robotiques. Sa mission est d'analyser, modéliser et reproduire les mécanismes du mouvement dans une approche systémique, allant du fondamental à l'appliqué.

(ii) Activités et domaines de recherche

L'ISM organise sa recherche autour de trois grands axes :

- Les éléments structurels du mouvement (biomécanique, science des matériaux).
- Les processus sensori-moteurs et cognitifs (neurophysiologie, psychologie).
- La modélisation bio-inspirée appliquée à la robotique et au contrôle des systèmes.

Cette approche intégrative permet des applications concrètes dans des secteurs tels que la santé, le sport, la robotique, l'éducation et le transport.

Le laboratoire dispose de cinq plateformes technologiques de pointe, notamment :

- Le Centre de Réalité Virtuelle de la Méditerranée (CRVM) pour l'étude immersive du mouvement.
- La plateforme MECABIO pour les essais sur matériaux biomécaniques.
- L'Arène de Vol pour la recherche en biorobotique.
- Le TechnoSport, qui associe recherche et performance sportive.
- L'IUT d'Aix-en-Provence, axé sur l'innovation en (bio)mécanique.

(iii) Partenaires et bénéficiaires

L'ISM ne dispose pas de clients au sens commercial, mais collabore étroitement avec des partenaires industriels, institutionnels et académiques. Ces partenariats permettent de valoriser la recherche par le biais de chaires universitaires et de projets appliqués. Parmi ses partenaires majeurs figurent :

- Decathlon (équipements sportifs).
- Stellantis (automobile).
- AG2R La Mondiale (prévention santé).

Les bénéficiaires finaux de ces travaux sont variés : Patients, athlètes, personnes âgées, mais aussi entreprises innovantes ou chercheurs impliqués dans des domaines connexes. Ces collaborations renforcent la mission de l'ISM de relier la recherche fondamentale aux enjeux concrets de la société.

(iv) Structure juridique et organisation

L'Institut des Sciences du Mouvement est une Unité Mixte de Recherche (UMR 7287), rattachée à Aix-Marseille Université et au Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS). Ce statut lui confère une double tutelle universitaire et étatique, ce qui garantit à la fois un ancrage académique fort et une participation active à la politique nationale de recherche.

L'ISM est organisé en équipes thématiques interdisciplinaires regroupant des chercheurs en biomécanique, neuroscience, robotique, psychologie et ingénierie. Il ne s'agit pas d'une entreprise au sens traditionnel, mais d'un organisme public de recherche au service de la production scientifique et de l'innovation technologique.

Sur le plan du positionnement, l'ISM agit comme un acteur de la recherche fondamentale et appliquée, mais aussi comme prestataire de services scientifiques dans le cadre de collaborations ou de contrats de recherche. Il contribue au transfert de technologies, notamment via ses plateformes techniques et ses partenariats avec le secteur industriel.

(b) L'Equipe Systèmes Bio Inspirés (SBI)

L'équipe Systèmes Bio-Inspirés (SBI) est une unité de recherche rattachée à l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM) d'Aix-Marseille Université. Elle s'inscrit dans une démarche interdisciplinaire visant à transformer les connaissances issues de l'étude du vivant en innovations d'ingénierie. Son approche repose sur le biomimétisme, c'est-à-dire l'observation et l'imitation de phénomènes biologiques pour développer des solutions technologiques durables, frugales et résilientes.

Les recherches de l'équipe SBI s'articulent autour de deux grands axes scientifiques :

- L'axe Biorobotique, dirigé par M. Julien SERRES, porte sur la conception de robots et de capteurs bio-inspirés. Ce domaine explore des thèmes comme la navigation sans GPS, la perception sensorielle pour la robotique et la prothétique, ainsi que l'agilité et la résilience dans des environnements complexes. Les robots conçus dans cet axe

cherchent à reproduire les capacités d'orientation et d'adaptation observées dans le monde animal.

- L'axe Mécanismes bio-inspirés, coordonné par M. Julien CHAVES-JACOB, développe des modèles de conception issus de la morphogenèse, de l'ostéogenèse ou encore des propriétés mécaniques des tissus biologiques. Les travaux de cet axe permettent d'imaginer de nouvelles structures légères, liaisons souples, ou encore des actionneurs multi-échelles inspirés de solutions naturelles.

L'équipe SBI est placée sous la responsabilité de M. Jean-Marc LINARES (PR, AMU) et Stéphane VIOLLET (DR, CNRS). Elle regroupe des chercheurs, doctorants et ingénieurs aux compétences variées, et collabore sur des projets financés, notamment par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR), dans le cadre d'initiatives comme le projet Mexp.

Les thématiques abordées couvrent un large éventail de disciplines : mécanique, robotique, dynamique des systèmes, neuroéthologie, sensorimotricité, mais aussi conception mécanique avancée, toujours dans un cadre bio-inspiré.

Implantation du laboratoire

Le laboratoire ISM se trouve à Avenue de Luminy F-13288, Marseille. Par ailleurs, il possède une antenne à Aix-en-Provence. Elle est précisément intégrée à l'IUT Aix-Marseille dans le département de Génie Mécanique et Productique (GMP).



Figure 1 : IUT d'Aix-Marseille

(c) L'ANR Mexp

Le projet MEXp (*Machina Ex Pulvino : la machine issue du pulvinus*), financé par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR) depuis octobre 2022, s'inscrit dans le cadre de la recherche sur les actionneurs bio-inspirés et résilients, un enjeu majeur de l'industrie 4.0. L'objectif principal de ce projet est de démontrer qu'un contrôle distribué à l'échelle cellulaire permet de préserver les performances mécaniques d'un actionneur, même en cas de dommages partiels.

Ce projet prend pour modèle les pulvini, structures biologiques présentes à la base des feuilles de certaines plantes comme *Mimosa pudica*. Ces « muscles végétaux » permettent un mouvement réversible des feuilles et ont la particularité de conserver leur fonction même après une perte significative de cellules motrices. Cette propriété de résilience naturelle en fait un excellent candidat pour le biomimétisme dans le domaine de la mécatronique.

Coordonné par M. Loïc TADRIST au sein de l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM – Étienne-Jules Marey), le projet MExP vise à développer des actionneurs cellulaires intelligents, capables de s'adapter aux dommages sans recourir à la redondance classique (plusieurs actionneurs en série ou en parallèle), réduisant ainsi la masse, le volume, la consommation énergétique et les matériaux nécessaires dans les systèmes mécaniques.

MExP offre ainsi des perspectives prometteuses tant pour la robotique bio-inspirée que pour la compréhension fondamentale des mécanismes de résilience dans les actionneurs biologiques multi-cellulaires.

6. Partie II : Rapport Technique

i. Mise en contexte de la mission

Sujet : Fabrication d'une cellule végétale bio-inspirée – Pompe Osmotique

Mon stage s'est déroulé à l'Institut des Sciences du Mouvement (ISM), bien que mon lieu de travail ait été situé à l'IUT d'Aix-Marseille, à Aix-en-Provence. L'ISM est un laboratoire de recherche pluridisciplinaire qui croise la biologie, la robotique et le génie mécanique, en adoptant une approche bio-inspirée pour le développement de nouveaux systèmes technologiques.

J'ai été intégré à une équipe de recherche s'intéressant notamment à la reproduction de mécanismes biologiques observés chez les plantes dans des dispositifs mécatroniques, en particulier dans le domaine des interfaces haptiques. L'équipe était encadrée par M. Loïc TADRIST et M. Paul LACORRE.

Le stage s'inscrit dans le cadre d'un projet de recherche plus vaste visant à concevoir une **cellule végétale artificielle pressurisable à la demande**, à l'aide d'un système électroosmotique. Ce projet s'inspire du fonctionnement des cellules végétales naturelles, dont la pression interne (pression de turgescence) influence directement la rigidité des tissus, phénomène observable par exemple lorsque les plantes flétrissent par manque d'eau.

Dans ce contexte, ma mission portait sur un sous-projet expérimental : le développement d'un prototype de mini pompe électroosmotique. Cette mini pompe servait de modèle d'étude préalable pour tester la faisabilité du principe électroosmotique à petite échelle, en vue de son intégration future dans la cellule artificielle. Il s'agissait donc d'une étape exploratoire permettant de valider les méthodes de fabrication et de caractériser les performances de pompage.

Ce travail s'appuie sur un article scientifique publié par le Human-Computer Interaction Institute (Carnegie Mellon University) [[Article](#), (Schmidt, 2023)], dont le concept de pompe électroosmotique sans pièce mobile a été reproduit, adapté, et testé avec les moyens matériels disponibles au sein de l'ISM.

Ma mission consistait à concevoir, fabriquer et tester ce prototype fonctionnel. Elle s'est déroulée sur une période de huit semaines, en suivant plusieurs étapes : recherche bibliographique, modélisation 3D (CAO), fabrication (impression 3D, assemblage), puis tests expérimentaux.

Le livrable principal attendu était un prototype opérationnel, accompagné de résultats de tests et d'une documentation technique permettant la reproductibilité du dispositif.

ii. Les démarches prévisionnelles et réalisées

(a) Les démarches prévisionnelles

Pour ce projet, il est important de prévoir un planning sous forme de diagramme de Gantt. Ce diagramme prévisionnel représentera l'avancement des tâches et des phases du projet théorique afin de finir le projet dans les délais imposés. Lors de la réalisation du projet, le diagramme Gantt nous permettra de contrôler les problématiques quant à l'avancée du projet (retard, ordonnancement des phases différent).

Cependant pour moi, il n'y avait pas de dates spécifiques ou officielles qui ont été données par M. Loïc TADRIST et M. Paul LACORRE pour les différentes tâches que je devais faire, la plupart n'étaient prononcées qu'oralement. J'ai donc réalisé ce Gantt à partir de date clés que j'ai défini personnellement.

Pour mon projet de stage, nous pouvons répartir le projet en 5 phases :

Phase 1 : Recherche bibliographie

Phase 2 : Obtention des produits (Commandes et Achats)

Phase 3 : Préparation à la fabrication (CAO/FAO)

Phase 4 : Prototypage et tests

Phase 5 : Finalisation

Diagramme de Gantt Prévisionnel

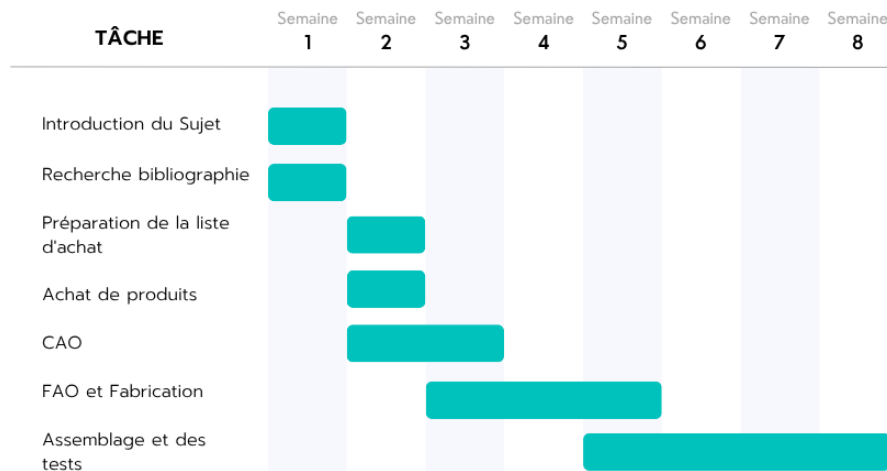


Figure 2 : Diagramme de Gantt prévisionnel

(b) Les démarches réalisées

Diagramme de Gantt des Tâches Effectuées

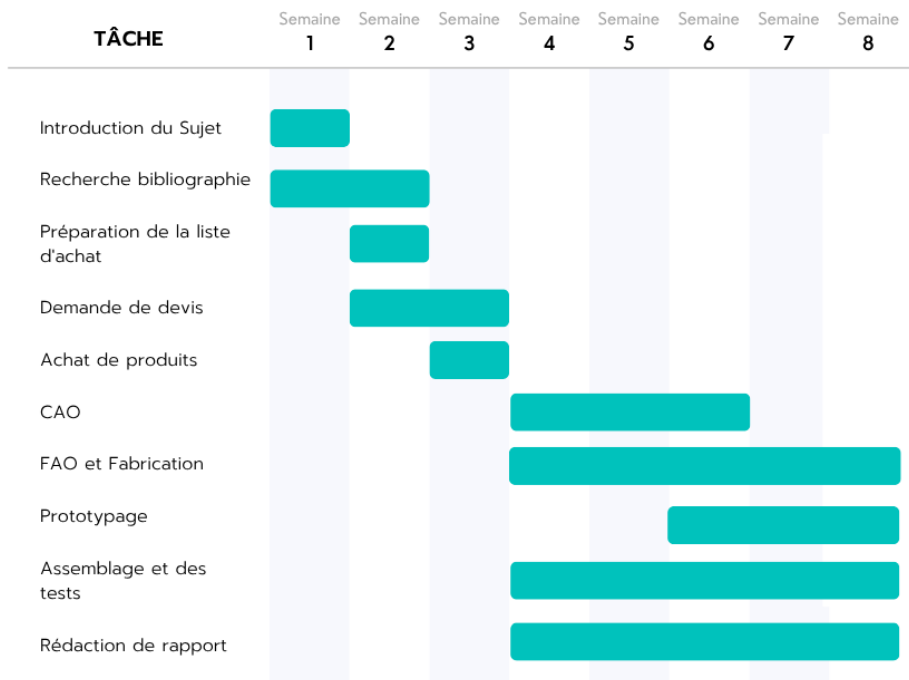


Figure 3 : Diagramme de Gantt réel

Nous pouvons voir plusieurs différences avec le diagramme Gantt prévisionnel comme des tâches supplémentaires que je n'avais pas prévues.

Le plus gros problème pour mon stage a sans aucun doute été l'attente de la réponse des entreprises pour le devis, ainsi que le temps d'attente pour recevoir tous les éléments nécessaires. Cette attente a retardé le processus et ne m'a laissé qu'une semaine pour terminer et tester l'assemblage final.

Pour réaliser ce projet les outils qui ont été mis à ma disposition sont :

Outils logiciels

- CATIA V5 / 3DEXPERIENCE : Pour la modélisation 3D des pièces mécaniques, l'assemblage virtuel, et la génération de trajectoires d'usinage.
- Logiciel de CAO pour PCB (ex. KiCad, EAGLE) : Utilisé pour la conception du circuit imprimé.
- Beam Studio : Logiciel de la machine de découpe laser.
- UltimakerCura : Logiciel pour l'imprimante 3D.
- Sinutrain : Simulateur de machine-outil pour tester virtuellement les programmes d'usinage avant production.
- Excel : Pour la gestion du planning, la création de la liste d'achat, et l'élaboration du devis.
- Word / PowerPoint : Pour la rédaction du rapport et la préparation de la présentation finale.

Outils techniques / matériels

- Découpeuse laser (FLUX Hexa) : Utilisée pour tester les formes conçues en CAO à l'échelle sur papier et pour couper les POMs et adhésives avec résolution entre 500 DPI jusqu'à 1000 DPI et puissance de 60W CO2.
- Imprimante 3D (Ultimaker 2+) : Pour réaliser des prototypes.
- Machines CNC et Conventionnelle : Prévues pour la fabrication de pièces après simulation sur Sinutrain.
- Outils de mesure (Pied à coulisse, Règle) : Pour les contrôles de dimension du POM et les vis.

iii. Développement des phases de la mission

(a) Phase 1 : Recherche Bibliographie

La première phase a consisté à étudier le principe de fonctionnement des pompes électroosmotiques, qui utilisent un champ électrique pour déplacer des fluides à travers des canaux microscopiques. Plusieurs articles scientifiques ont été consultés, notamment sur les performances en termes de débit et de pression. Ces recherches ont permis d'identifier les principaux paramètres à prendre en compte pour le dimensionnement, les différentes

couches et leurs fonctions, les matériaux nécessaires, la tension appliquée et la compatibilité des matériaux.

Introduction à l'écoulement électroosmotique (EOF)

Le flux électroosmotique est le mouvement d'un liquide induit par l'application d'un champ électrique sur une surface chargée. Il se produit généralement dans de petits canaux ou capillaires, en particulier lorsque les parois des canaux sont constituées de matériaux comme le verre ou la silice, qui portent naturellement une charge superficielle au contact de l'eau.

Le principe d'écoulement électroosmotique (EOF)

➤ Surface chargée

Lorsqu'une surface solide (comme le verre) entre en contact avec un liquide (comme l'eau), elle se charge généralement négativement.

➤ Double couche électrique (EDL) (Voir [Figure 4](#))

La surface négative attire les ions positifs du liquide, formant une couche de contre-ions près de la surface. C'est ce qu'on appelle la double couche électrique qui s'agit de :

- Couche de base (ions immobiles et étroitement liés)
- Couche diffuse (ions mobiles)

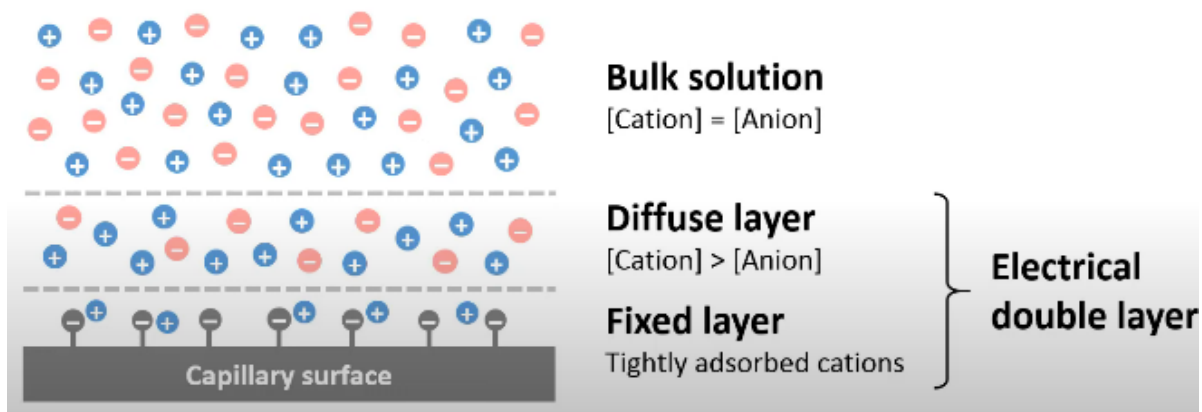


Figure 4 : Représentation de la double couche électrique

➤ Application d'un champ électrique

- Lorsqu'un champ électrique est appliqué le long du canal, les ions positifs mobiles de la couche diffuse sont attirés vers l'électrode négative.

➤ Le liquide se déplace avec les ions (Voir [Figure 5](#))

- Ces ions entraînent le liquide environnant, provoquant un écoulement massif du fluide. C'est ce qu'on appelle l'écoulement électroosmotique.

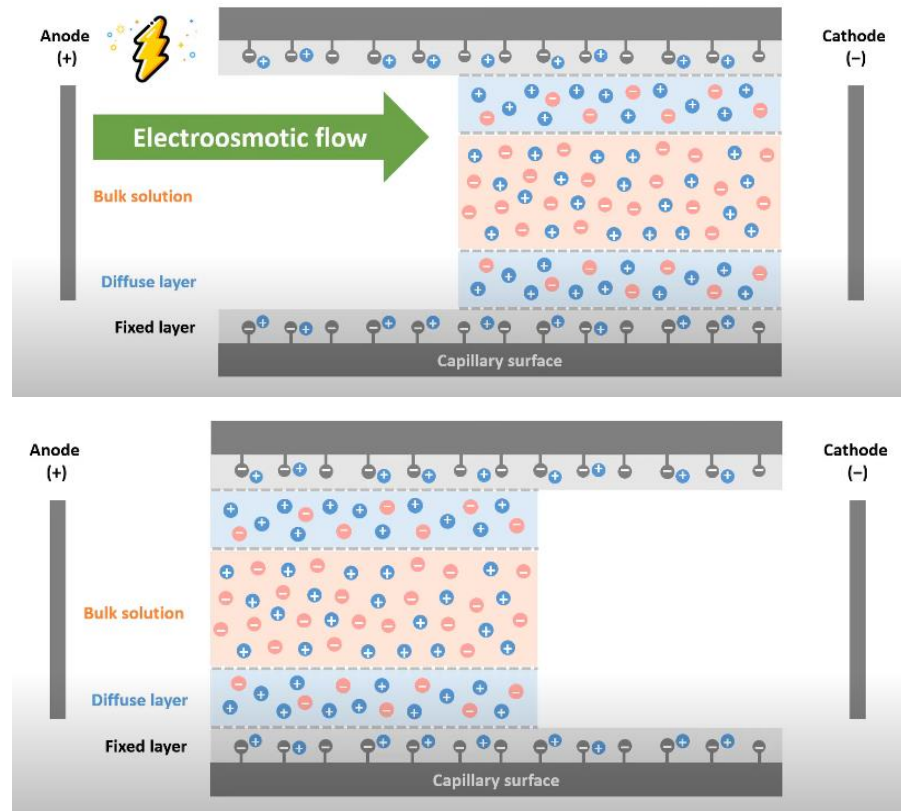


Figure 5 : Mouvement des ions dans le flux d'électroosmose

Équation de Helmholtz-Smoluchowski

$$u_{EO} = -\frac{\epsilon_0 \epsilon_f \zeta}{\mu_f} E_{app}$$

- u_{EO} est la vitesse d'écoulement électroosmotique
- ϵ_0 est la permittivité de l'espace libre
- ϵ_f est la permittivité du fluide
- μ_f est la viscosité du fluide
- ζ est le potentiel de paroi de la double couche dû à la densité de charge de surface
- E_{app} est le champ électrique appliqué

Avantages du flux d'électroosmose

- Construction simple et miniaturisation facile (fonctionnant fondamentalement sur des échelles de longueur inférieures à 1 μm)

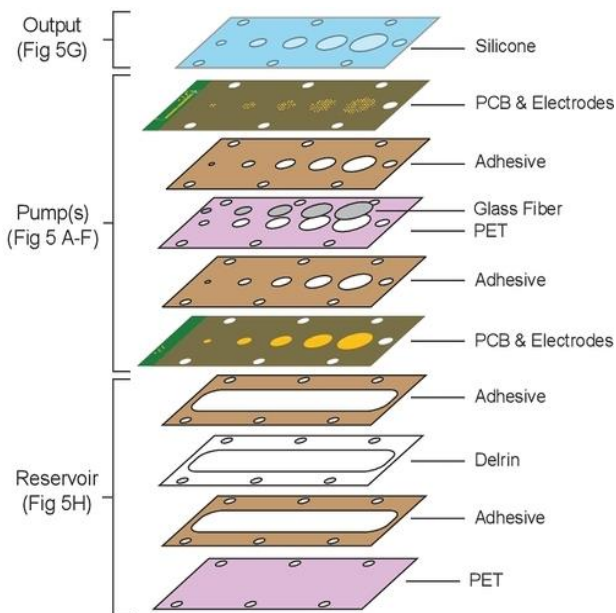
- Direct
- Réversible
- Contrôle du débit sans impulsions par application d'une tension de commande sans vannes ni pièces mobiles
- Possibilité d'adaptation à une large plage de pressions et de débits
- Applications dans les systèmes micro fluidiques allant de la chromatographie liquide à la gestion de l'eau des piles à combustible, en passant par le refroidissement microélectronique en boucle fermée et même l'administration de médicaments

Extraits d'articles

Parmi les nombreux articles qui m'ont été fournis pour m'aider à comprendre le principe de fonctionnement et les avancées des mini pompes osmotiques, celui-ci a été ma principale référence lors de la recreation de la pompe. Il rassemble toutes les informations essentielles pour reproduire la mini pompe, notamment une description des différentes couches et des matériaux utilisés, ainsi qu'une explication détaillée et justifiée de chaque information fournie. Il détaille également le montage de la mini pompe étape par étape et les résultats.

Embedded Electroosmotic Pumps for Scalable Shape Displays

<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3544548.3581547>



Il y a **11 couches différentes** laminées ensemble, 7 couches fonctionnelles et 4 couches adhésives. Cela inclut les circuits imprimés (PCB), chacun constituant une couche fonctionnelle unique

PCB - Contenir les électrodes. Inclure des Vias (petits trous)

Couches adhésives - Aide à lier les couches ensemble et à sceller les canaux de fluide. Certains sont découpés au laser pour permettre des trous ou des chemins précis pour le mouvement des fluides.

Couche PET - Découpée au laser avec des trous alignés pour former des « pixels de pompe ». Contrôle la forme, la taille et l'isolation de chaque unité de pompe.

Figure 6 : Schéma d'empilement complet de l'EEOP, montrant tous les matériaux utilisés. La colle utilisée pour coller le silicone à la couche supérieure du circuit imprimé n'est pas représentée.

GFF - L'action électroosmotique de la membrane de pompage active se produit ici. Il possède une surface chargée négativement, idéale pour aspirer les fluides via des champs électriques.

Les écrans sont conçus et construits en 3 parties principales : la couche réservoir, la couche de pompage et la couche de sortie.

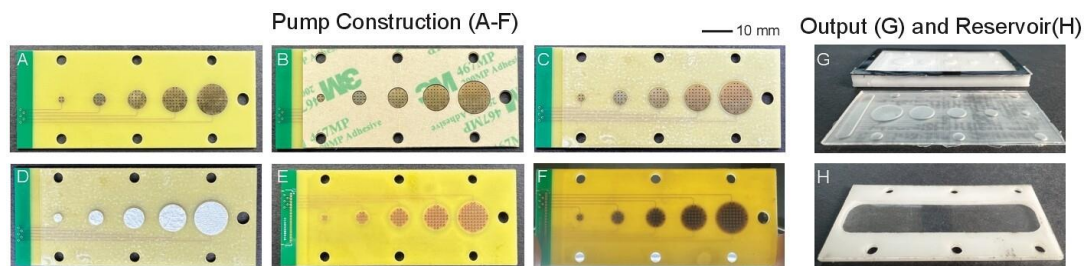


Figure 7 : Photos illustrant la construction de la pompe. (A-F) illustrent les différentes étapes du processus d'assemblage de l'EEOP. (G) illustrent la couche de silicone après moulage et le moule utilisé pour couler le silicone. (H) illustre le bouchon en Delrin/PET qui entoure le réservoir arrière.

Remarque :

L'augmentation de l'épaisseur de la membrane de pompage augmente la pression de sortie (à champ électrique constant), tandis que l'augmentation de la surface de la pompe augmente proportionnellement le débit.

L'équation de Helmholtz implique également que les fluides à constante diélectrique élevée et à faible viscosité entraînent des débits élevés.

(b) Phase 2 : Obtention des produits (Commandes et Achats)

Au cours de cette phase, j'ai été chargé de solliciter des devis auprès de différents fournisseurs avant de procéder aux commandes. Cela a impliqué l'envoi des mails ainsi que des appels téléphoniques afin d'obtenir les informations nécessaires sur les prix et la disponibilité des articles.

Afin de rester fidèles à la conception présentée dans l'article de référence, nous avons cherché à reproduire la pompe de manière aussi identique que possible. Pour cela, nous avons utilisé, dans la mesure du possible, les mêmes composants que ceux décrits dans l'article.

Une fois les spécifications définies, nous avons procédé à l'achat des composants nécessaires :

- Propylène carbonate. Fournisseur : Sigma Aldrich

<https://www.sigmaaldrich.com/FR/fr/substance/propylenecarbonate10209108327>

Nous utilisons du carbonate de propylène (PC) à la place de l'eau comme fluide de pompage, car l'eau produit des bulles de gaz à haute tension, ce qui perturbe le système. Le PC évite ce problème et offre plusieurs avantages : il fonctionne sur une large plage de températures, possède une constante diélectrique élevée, une faible viscosité et une faible conductivité une fois purifiée. Cependant, le PC présente l'inconvénient d'être chimiquement agressif et d'endommager de nombreux matériaux comme les colles et les plastiques. Nous avons donc dû choisir avec soin des composants (fibre de verre, PCB, silicone, adhésives, PET et Delrin) capables de lui résister.

- Glass Fibre Filter Paper. Fournisseur : Fisher Scientific

<https://www.fishersci.fr/shop/products/whatman-binder-free-glass-microfiber-filters-gf-f-circles/p-109035#?keyword=>

Nous avons choisi le papier filtre en fibre de verre de grade F, car il se découpe avec précision au laser, est flexible et résiste aux agressions chimiques. Sa composition en verre borosilicaté lui confère également un fort flux électroosmotique.

- Polyéthylène téréphtalate (PET). Fournisseur : RS.

<https://fr.rs-online.com/web/p/films-plastiques/7850792>

- Scotch 3M467MP. Fournisseur : DigiKey

<https://www.digikey.fr/fr/products/detail/3m/467MP-2-X60YD/1819016>

- Smooth-On Ecoflex 00-30 silicone

Nous avons utilisé du silicone Ecoflex 00-30 pour la couche de sortie, car il est souple, résistant, facile à travailler et offre une grande flexibilité sans se déchirer. Sa flexibilité le rend idéal pour transférer la pression de la pompe à l'utilisateur en toute sécurité.

- Rubber silicone epoxy glue (Smooth-On Sil-Poxy)
- PCB. Fournisseur : Fournisseur local, contact de professeur

Certains matériaux étaient disponibles à l'IUT comme l'ecoflex silicone et l'alimentation électrique.

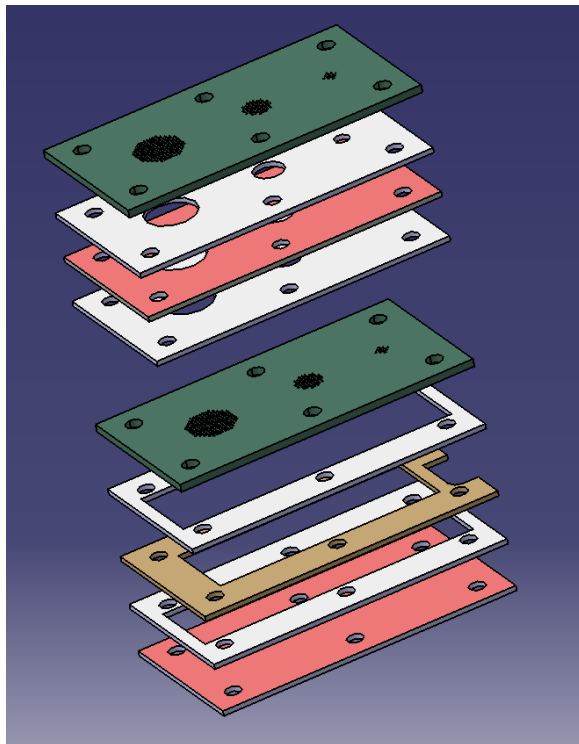
Comme mentionné précédemment, l'obtention des devis ainsi que la livraison des articles ont connu des délais plus longs que prévu. La majorité des composants nécessaires n'étaient disponibles que lors de la dernière semaine de mon stage. En particulier, le PET n'a jamais été livré, ce qui nous a contraints à le remplacer par un autre type de film plastique afin de pouvoir poursuivre le projet.

(c) Phase 3 : Préparation à la fabrication (CAO/FAO)

En attendant l'approbation du devis et la réception des matériaux commandés, j'ai commencé la phase de préparation de la fabrication en créant un modèle CAO de la pompe. L'objectif était d'obtenir une représentation visuelle de la pompe, en concevant ses différentes couches et le circuit imprimé (PCB).

La conception du PCB était une étape cruciale, car il s'agissait d'un composant que je devais créer moi-même avant de le faire fabriquer.

Ci-dessous la représentation de la **pompe entière** :



Vert : PCB

Blanc : Adhésif

Rose : PET

Marron : Delrin

La pièce mesure 6 x 3 cm et comporte trous de diamètre 3 mm, 6 mm et 10 mm. 6 trous supplémentaires, de 3,2 mm de diamètre, ont été prévus pour le passage de vis, afin d'assurer l'assemblage des différentes couches du dispositif.

Figure 8 : CAO de la représentation des différentes couches de la pompe dans CATIA V5

Le PCB

Au départ, j'étais conseillé d'utiliser KiCAD pour concevoir le circuit imprimé, mais un problème est survenu lors de l'exportation du fichier : Le fournisseur n'y a pas pu accéder. C'est ce qui m'a conduit à utiliser un autre logiciel.

Le circuit imprimé a été conçu à l'aide du logiciel Eagle, spécialisé dans la conception de circuits électroniques. Pour permettre la diffusion du PC, plusieurs vias de 0,3 mm de diamètre ont été disposés en cercle, espacés de 0,6 mm entre eux, le pourtour étant remplie de cuivre (couche rouge) pour assurer la conductivité.

Les couches de cuivre sont ensuite connectées à des vias externes (les trois à gauche) qui servent d'entrée électrique permettant la création d'un champ électrique pendant le test.

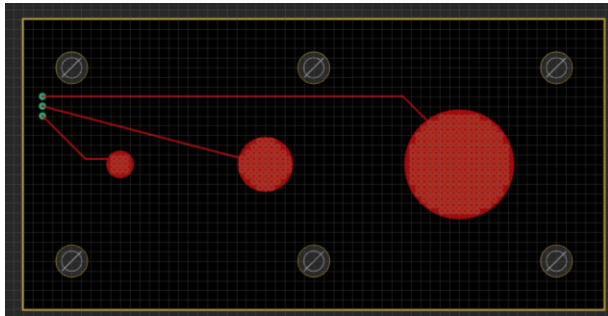


Figure 9 : Vue 2D du PCB conçu dans Eagle

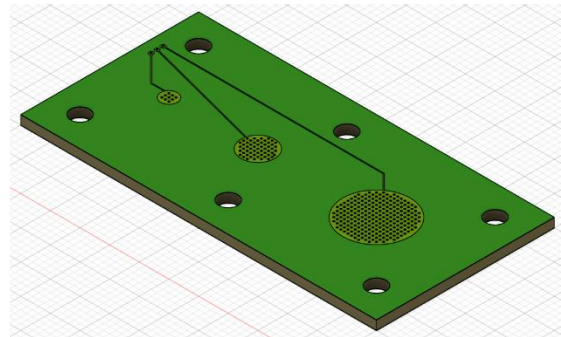


Figure 10 : Vue 3D du PCB conçu dans Eagle

Le réservoir

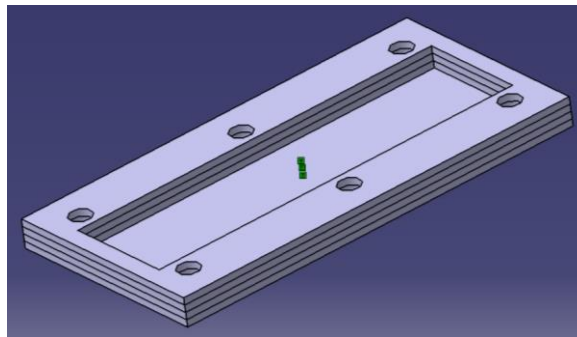


Figure 11 : CAO du réservoir dans CATIA V5

J'ai dû créer un prototype des trois dernières couches, comme illustré sur [La Figure 6](#), plus précisément du réservoir. Cependant, au lieu d'utiliser du Delrin, des adhésifs et du PET, nous utiliserons un seul bloc de POM pour les trois couches. La Figure 11 est le CAO Catia V5, qui me permet de créer un plan de fabrication.

D'après l'article de référence, [[Article](#), (Schmidt, 2023)], le réservoir a une hauteur totale d'environ 3 mm mais comme il ne s'agit que d'un prototype et qu'il y a une difficulté à faire un surfaçage sur la grande surface rectangulaire sur le POM car la hauteur est trop petite, nous avons choisi de négliger le processus de surfaçage et de nous concentrer uniquement sur la création de la poche au milieu et les trous de perçage, ainsi la hauteur du POM reste à 5 mm. Si je choisis de faire un surfaçage, il y aura une difficulté dans le serrage de la pièce sur la machine qui pourrait également conduire à une collision de l'outil avec l'étau de la machine. La hauteur est également négligeable car la dimension qui compte pour notre couche est la profondeur et le volume de la poche au milieu qui contient le fluide.

Nous avons décidé d'usiner 3 blocs de POM, dont l'un aura une poche totale (la poche du milieu est une poche complet traversant), la deuxième sera usiné jusqu'à ce qu'il ne reste

plus que 0,2mm d'épaisseur pour la base de la poche et enfin n'aura plus que 1mm d'épaisseur.

Ce qui est important dans l'usinage de cette poche c'est le volume de la poche et l'épaisseur de la couche finale (la base), nous voulons qu'elle soit fine ce qui permettra une flexibilité qui aide à pousser les fluides vers le haut dans le montage final de notre pompe et le volume qui contient le fluide qui déterminera la hauteur/taille du débit sur notre couche supérieure de silicone.

Le volume minimale pour le liquide dans le réservoir serait le volume total des 3 hémisphères, mais pour améliorer les performances du système, il est recommandé d'augmenter au maximum le volume du réservoir. Cela permet une déformation maximale du silicone et donc une transmission de pression plus efficace.

Volume d'un hémisphère, $V = \frac{2}{3} \times \pi \times r^3$

Comme on a hémisphères de diamètre 3mm, 6mm et 10mm, la volume totale sera :

$$V_t = \frac{2}{3} \times \pi \times (1.5mm)^3 + \frac{2}{3} \times \pi \times (3mm)^3 + \frac{2}{3} \times \pi \times (5mm)^3$$

On trouve $V_t = 7.06858mm^3 + 56.5487mm^3 + 261.799mm^3 = 325.41628mm^3$

En prenant en compte le POM avec la poche la moins profonde, soit 4 mm :

On a $V_{poche} = 15mm \times 55mm \times 4mm = 3300mm^3$

Sur la base de cela, nous pouvons conclure que les trois POMs auront plus que suffisamment de volume de PC nécessaire dans le réservoir.

Moulage pour le silicone

La couche de silicone, la couche supérieure qui se déforme, a une épaisseur de 0,25 mm. Je dois donc créer une pièce pour guider le moulage.

Afin d'assurer une meilleure fiabilité du moulage de la couche en silicone (Ecoflex 00-30), il est préférable d'augmenter légèrement la profondeur de la cavité prévue dans la pièce de guidage. Une profondeur de 1.5mm au lieu de 0,25 mm présente plusieurs avantages :

- Elle permet un remplissage plus complet du moule, entraînant ainsi les zones sous-remplies dues aux bulles d'air, aux effets de tension de surface ou à de petites imperfections de surface.
- Elle compense les irrégularités potentielles entre les surfaces de contact du moule.

- Elle facilite également le démoulage : à des épaisseurs très fines, le silicone peut adhérer fortement ou se déchirer lors du retrait.

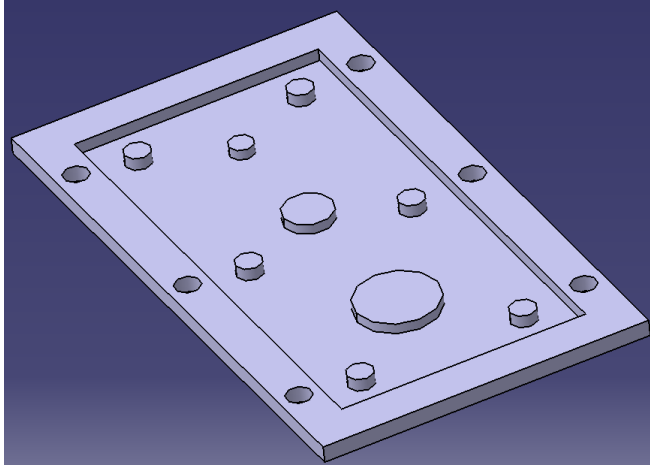


Figure 12 : Moule pour le silicone

Cependant l'épaisseur de 0,25 mm est conservée sur la partie circulaire pour éviter toute modification des performances lors de la déformation.

La dimension est de 7cm x 4cm avec des trous supplémentaires pour les vis pour assurer l'alignement de la pièce de guidage et de son couvercle, qui n'est qu'une pièce rectangulaire plate également réalisée avec l'impression 3D.

Dans les paramètres d'impression, nous avons choisi d'utiliser une résolution de 0,1 mm pour assurer la précision car l'épaisseur du silicone est très cruciale. Les 6 cylindres permettent la création de trous de vis dans le produit final du silicone.

(d) Phase 4 : Prototypage et tests

Le réservoir

Avant de passer directement à la machine fraisage CNC, j'ai créé des programmes pour simuler le processus de fabrication sur SinuTrain.

La dimension de la pièce dont j'ai besoin est de 6 cm x 3 cm, comme indiqué à gauche se trouve la pièce brute que j'ai découpée à l'aide de la SCIE KASTO à une dimension d'environ 6,3 cm x 3,3 cm. J'obtiendrai ensuite les 6cm x 3cm en utilisant la machine CNC par surfacage sur les 4 surfaces différentes qui ont la faible surface, la surface avec la grande surface n'est pas capable de subir un surfacage.

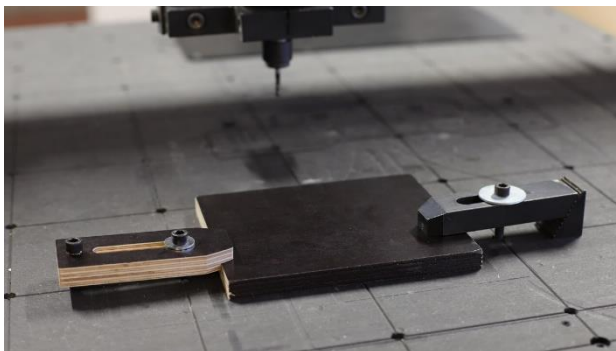


Figure 13 : Maintien en position de la pièce par des vis ([source](#))



Figure 14 : Brides de serrage ([source](#))

Après avoir obtenu les dimensions de 6x3 cm, j'ai procédé à la fabrication de la poche et au perçage des trous. La pièce étant difficile à serrer avec un étau et une cale, comme c'est généralement le cas avec les grands blocs d'acier, j'ai dû utiliser un serrage par vis, comme illustré sur la photo.

Il consiste à utiliser des brides de serrage et des vis ainsi que des vis de pression et des rondelles. Les vis les plus proches de la pièce à usiner servent à positionner la bride, tandis que la vis extérieure, appelée vis de pression, permet de maintenir la bride et la pièce en place. Il est toutefois nécessaire de placer une rondelle sous la vis de pression pour éviter tout contact direct avec le bloc situé en dessous. Les rondelles permettent de répartir la pression uniformément sur une plus grande surface et d'éviter tout glissement.

Cependant dans la configuration que nous avons utilisée, au lieu d'un seul cube noir comme dans la Figure 13, j'ai une pièce de martyr qui a une taille presque identique à ma pièce que je veux usiner et aussi ma pièce à usiner qui sont tous deux serrés par les brides de serrage, la pièce de martyr permet d'augmenter la hauteur entre la base et ma pièce d'usinage, ce qui évite également la collision entre l'outil et le bloc de serrage.

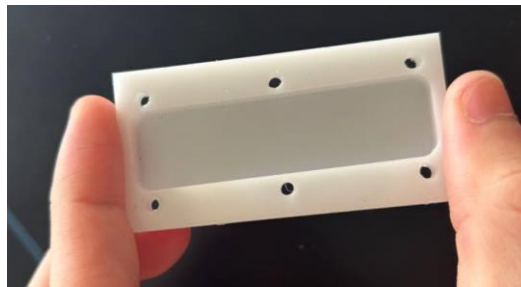


Figure 15 : L'un des POMS usinés, la POM avec la base 1 mm d'épaisseur

Voici l'un des produits finaux, j'ai réussi à obtenir la pièce avec la poche traversant au milieu et celle avec l'épaisseur de 1 mm mais la pièce avec l'épaisseur de 0,2 mm a échoué car elle est un peu déchirée.

Mais le problème avec l'utilisation de cette méthode de serrage est qu'elle n'assure pas l'alignement de ma pièce (elle n'est pas droite), voir Figure 15, et cela se voit sur les produits finaux car certaines de ces poches sont légèrement inclinées. Les poches ne sont pas parfaitement parallèles par rapport au contour du bloc.

Après avoir initialement découpé le POM à la machine CNC, il m'a ensuite été demandé de tester la découpe à l'aide d'une machine de découpe laser pour vérifier sa faisabilité. Après plusieurs essais avec différents réglages, il a été démontré que le POM pouvait effectivement être découpé par ce type de laser, ce qui a permis de simplifier davantage le processus de fabrication. L'utilisation de la CNC au départ répondait à une demande

spécifique de M. Loïc TADRIST, qui souhaitait produire des poches de différentes épaisseurs, une contrainte incompatible avec la machine de découpe laser, celui-ci traversant totalement le matériau sans permettre un contrôle précis de l'épaisseur restante.

Pour la machine Hexa Flux qu'on utilise, les paramètres idéaux étaient : 60% puissance, 3mm/s de vitesse en 2 passes.

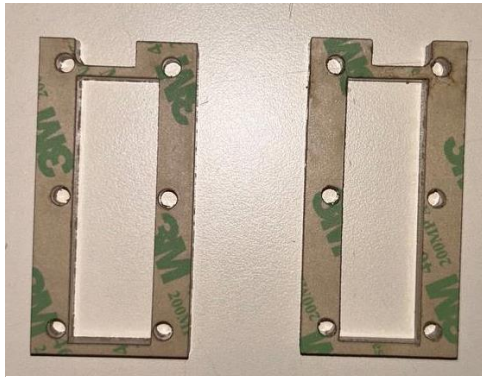


Figure 16 : POM collé avec des adhésifs découpés au laser

Cependant, j'ai dû changer la forme du POM et faire une petite poche sur le côté. En utilisant la forme initiale, le POM couvrirait les 3 vias sur le PCB, ne permettant ainsi pas la connexion des fils.

La découpe laser de l'adhésif posait un problème majeur : Impossible de le maintenir correctement en place dans la machine. Si je le plaçais en appuyant sur la surface de la machine, il perdait son pouvoir adhésif, et lorsqu'il était placé à l'envers, il était emporté par le flux d'air. La solution consistait à le coller sur les plaques de POM des deux côtés, puis à découper le tout au laser. En utilisant le laser, cela signifierait que nous devrions fermer le fond avec de l'adhésif et une couche de PET, ce qui est exactement le même que dans l'article.

Il y avait un petit problème dans le placement du POM dans la machine, la brute que j'avais était légèrement pliée, j'ai donc dû mettre du poids dessus pour redresser le POM dans la machine. Cependant avec la présence du poids qui est un bloc métallique, je devais faire attention à ne pas provoquer de collision entre la tête laser et le poids.



Figure 17 : MIP/MAP de POM dans la découpe laser

Le film plastique (PET)

Tout comme le POM, le film a été collé avec 3M467MP des deux côtés et découpé ensemble. Les paramètres idéaux étaient : 15% puissance, 15mm/s de vitesse en 1 passe



Figure 18 : Film plastique collé avec des adhésifs découpés au découpe laser

Silicone

Après avoir eu tous les produits nécessaires, le processus de création de la couche de silicone commence.



Figure 19 : Spray de dégraissage



Figure 20 : Silicone 00-30

Ce spray sert à faciliter le processus d'enlever la silicone après qu'il s'est solidifié. On le met sur les pièces 3D.

Le silicone se présente sous deux liquides différents qui doivent être mélangés.

Le process :

Il faut tout d'abord mélanger la Partie A et B et remuer bien, il est important que les deux produits aient un rapport de 1:1 en termes de quantité. On peut l'assurer **en utilisant une balance analytique**. Dans mon cas, j'ai mis 2,5g de partie A et 2,5g de partie B. Après avoir obtenu 5g total, je le mélange avec un agitateur jetable.



Figure 21 : Balance analytique



Figure 22 : Cloche à vide



Figure 23 : Moule pour le silicone imprimé en 3D

Ensuite, j'ai mis le silicone liquide dans la cloche à vide. C'est un appareil qui sert à éliminer les bulles d'air dans le silicone. C'est important car des bulles d'air peuvent se former dans le silicone, ce qui entraîne une déchirure dans la forme finale.

Finalement, j'ai mis le silicone liquide dans la pièce 3D, il doit être bien rempli sans laisser de vide. Je le recouvre ensuite avec le morceau plat et mets des poids dessus pour assurer qu'il est fermé



Figure 24 : Le moule rempli de silicone avec des poids placés dessus

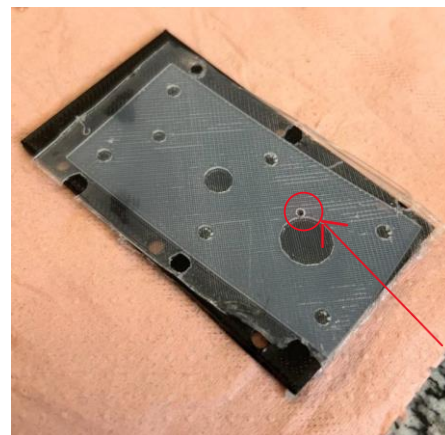


Figure 25 : Trou dans le produit final du silicone

Je le laisse pendant 24 heures puis je commence à l'extraire.

En raison de la bulle d'air dans le silicone, cela provoque un trou indésirable dans la forme finale. Je répète ces étapes plusieurs fois dans la semaine pour avoir plusieurs couches de silicone que je vais utiliser pour prototypage d'assemblage et aussi l'assemblage finale.

Essais de collage

- Entre le PCB et réservoir en utilisant l'adhésif 3M467MP

Afin de garantir un assemblage final précis et sans désalignement, j'ai réalisé plusieurs essais de collage. Pour cela, j'ai imprimé en 3D une pièce reprenant exactement la géométrie du circuit imprimé (PCB), que j'ai ensuite collée sur le POM découpé. J'ai également utilisé des morceaux de papier pour représenter les différentes couches (GFF, PET, adhésif), ce qui m'a permis de vérifier la compatibilité des dimensions et de m'assurer que l'étanchéité du système pouvait être maintenue.



Figure 26 : Collage entre la pièce imprimée en 3D et le POM

- Entre le PCB et silicone en utilisant syl époxy glue

Avant de coller directement le silicone sur le circuit imprimé fonctionnel, il était nécessaire de vérifier l'adhérence entre les deux matériaux. Pour cela, nous avons réalisé un test préalable en ponçant localement la surface du cuivre jusqu'à faire apparaître la couche de résine située sous le cuivre. Une fois cette surface exposée, j'y ai collé un échantillon de silicone afin d'observer si l'adhérence était suffisante pour une fixation durable. Lors du collage du silicone sur le PCB, il est important d'éviter toute colle placée dans les perçages car elle pourrait bloquer le fluide et affecter la fonction, c'est pourquoi ce test a été effectué uniquement sur la résine (partie jaune du PCB). Cela a d'abord été fait avec du papier de verre mais cela a pris trop de temps alors nous avons changé et utilisé une meuleuse à la main.

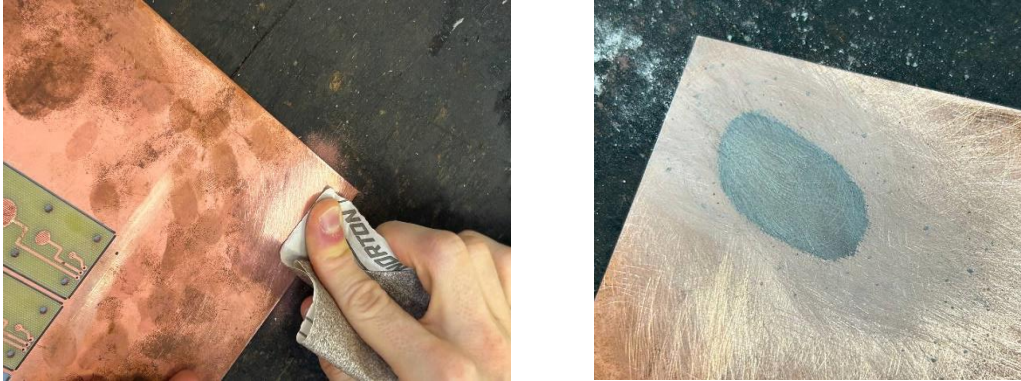


Figure 27 : Le processus de grattage du cuivre pour révéler la résine

- Entre l'adhésif 3M467MP et le PCB

Dans le montage final, les PCB sont fixés sur différentes couches à l'aide d'adhésif, un test était donc également nécessaire pour voir si l'adhésif 3M467MP collerait fortement sur le PCB. Il a ensuite été prouvé qu'il collait fermement sans problème.

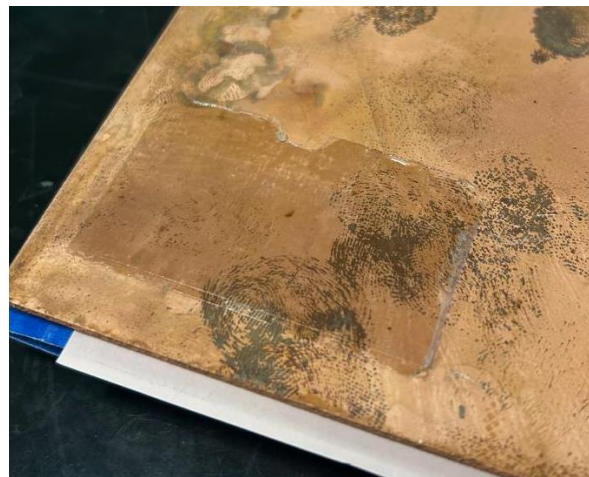


Figure 28 : Collage du 3M467MP sur la carte de cuivre

Le GFF

Des GFF de différents diamètres ont également été découpées au laser. Le problème était de les maintenir en place et d'empêcher GFF découpée de s'envoler. La solution a été de coller une petite partie sur du papier, puis de recouvrir la couche inférieure de papier pour éviter que la fibre ne tombe dans la machine. J'avais également placé une pièce 3D sous la GFF, servant de surface dure pour l'empêcher de couper la couche de papier en dessous. Voir Figure 29.



Figure 29 : MIP/MAP de GFF dans la découpe laser

Pour éviter que le fluide ne se répande horizontalement sur différentes couches, il est important que le GFF s'insère parfaitement dans les trous PET. Pour garantir cela, nous avons mis le GFF découpé dans le PET découpé avec des adhésifs, initialement avec un diamètre de 3mm, 6mm, 10mm, le GFF ne s'insérait pas parfaitement dans les trous du PET. Nous augmentons ensuite le diamètre de 0,3 mm, 0,4 mm et 0,5 mm. Après les avoir placés un par un, nous avons constaté que ceux de 3,4 mm, 6,4 mm et 10,4 mm conviennent le mieux.

(e) Phase 5 : Finalisation

Cette dernière phase du projet a été consacrée à l'assemblage complet du dispositif ainsi qu'à la mise en place des premiers tests fonctionnels. Une fois toutes les pièces réunies, j'ai procédé au montage de la pompe, puis à l'application du champ électrique afin d'évaluer le comportement du système et valider le principe de fonctionnement électroosmotique.

Le réservoir

Cette couche est constituée de POM déjà découpés auparavant avec des adhésifs collés dessus et d'une couche de film plastique. Le paramètre pour le plastique était le même que le paramètre pour couper le papier qui est préinstallé dans BeamStudio : 15% de puissance et 15% mm/s de vitesse en 1 passe



Figure 30 : Le film plastique dans la découpe laser

La sortie (Output)

Cette couche est formée en appliquant de la colle époxy syl sur le PCB en évitant les vias puis en collant soigneusement le silicone sur le PCB.

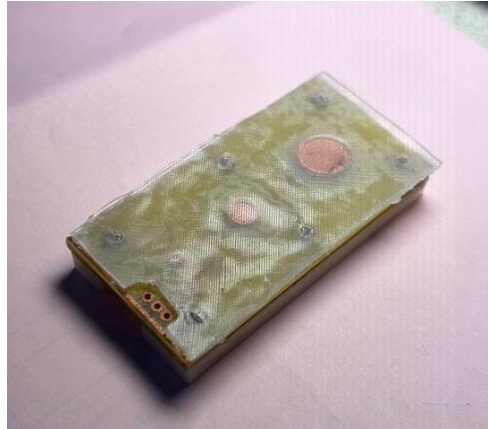


Figure 31 : La couche de sortie composée de silicone et de PCB

L'assemblage total

Comme mentionné précédemment, nous avons déjà découpé le film qui est collé avec des adhésifs. Cette couche est ensuite collée sur la couche de sortie qui est en silicone et le PCB. Après avoir eu cette combinaison, nous avons mis le GFF dans les trous des films plastiques.

L'étape suivante, nous avons pris le PCB inférieur et l'avons collé sur le POM avec des adhésifs.

Nous avons maintenant la couche de sortie avec la moitié de la pompe et le réservoir avec l'autre moitié de la pompe. **La partie supérieure** qui se compose de silicone, PCB, adhésif, GFF, PET et adhésif est ensuite collée sur **la partie inférieure** composée de PCB, adhésif, POM, adhésif et PET. Pour assurer l'étanchéité, j'ai ensuite mis les 6 vis et les écrous pour les maintenir ensemble

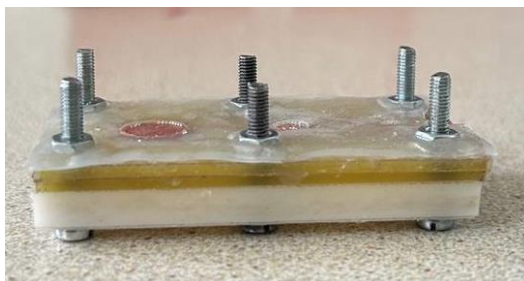


Figure 32 : L'assemblage complet de la pompe

L'étape suivante consiste à insérer le PC dans le réservoir. Pour ce faire, nous avons utilisé une seringue. Deux trous ont été créés dans le PET du réservoir, l'un pour injecter le fluide et l'autre pour éliminer les bulles d'air. Mais le trou que nous avons fait était trop proche de la vis, il était donc difficile d'essayer de le refermer, ce qui a entraîné des bulles d'air. Nous l'avons minimisé autant que possible et l'étanchéité a été réalisée en coupant un petit morceau de film plastique et en le collant à l'aide d'adhésif.



Figure 33 : Nouvelle seringue utilisée pour insérer le PC

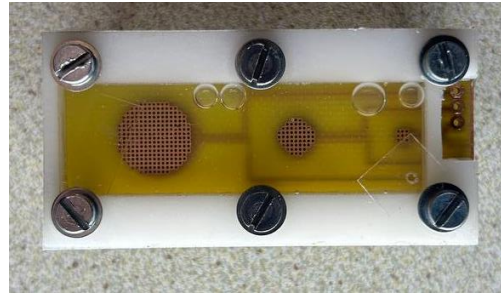


Figure 34 : Réservoir rempli de PC avec des bulles d'air

Un premier test a été réalisé, où nous avons appliqué une tension de 0 V à 120 V. Ce test a révélé que le liquide se répandait sur la couche entre le silicone et le circuit imprimé supérieur, ce qui suggère que le silicone n'était pas correctement posé à plat et collé sur le circuit imprimé.

Pour vérifier cette théorie, nous avons pris la pièce prototype qui consistait en le film collé avec la pièce imprimée en 3D pour représenter le PCB et l'avons vissé sur la couche de silicone. Il s'agit simplement d'avoir une autre couche qui pourrait appuyer sur le silicone pour garantir que le silicone était plat et pressé sur le PCB sans poches supplémentaires.

Le test a été refait mais cette fois nous avons pu voir clairement la déformation de l'hémisphère et il n'y avait aucune fuite de PC sur les côtés.

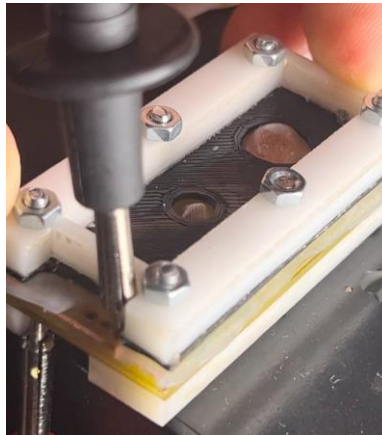


Figure 35 : L'assemblée improvisée pour le deuxième test

Afin d'obtenir un assemblage plus propre, nous avons démonté le prototype, dévissé les vis et retiré le silicone initialement collé sur le PCB. Une nouvelle couche de silicone a ensuite été positionnée, avec une quantité de colle plus importante. Cette fois-ci, un morceau de métal plat a été placé par-dessus afin d'assurer une pression uniforme et favoriser une

meilleure adhérence entre les deux surfaces. J'ai également rajouté du PC dans le réservoir pour compenser le liquide perdu lors du test initial.



Au départ, nous utilisions une seringue reliée à un petit tube pour injecter le liquide. Toutefois, la seringue s'est cassée et a dû être remplacée. De plus, la nouvelle seringue présentait des difficultés pour éliminer les bulles d'air présentes dans le système. Finalement, la solution la plus efficace s'est révélée être le maintien de l'idée initiale, à savoir l'utilisation d'un simple petit tube dans les deux trous créés.

Figure 36 : La seringue utilisée initialement

Le résultat

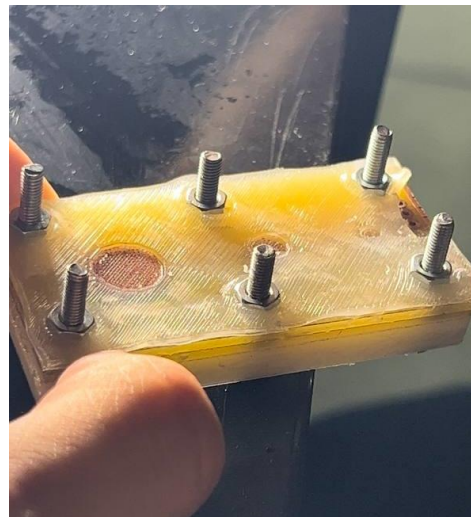
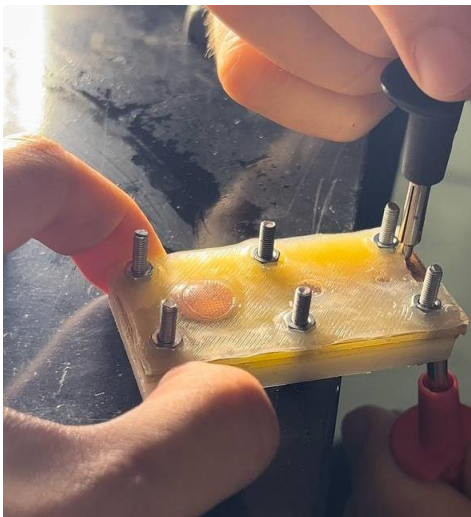


Figure 37 : Déformation du silicone

Après le nouvel assemblage, nous avons procédé à un nouveau test. En inversant les bornes des électrodes, nous avons pu observer clairement la déformation provoquée par l'écoulement du liquide de haut en bas.

iv. Bilan de l'étude : Conclusion Technique

Bilan technique

Le prototype de pompe électroosmotique a été conçu, modélisé et assemblé en suivant les indications fournies dans un article scientifique de référence. L'objectif était de reproduire le fonctionnement d'une cellule végétale pressurisée grâce à un système bio-inspiré ne comportant aucune pièce mobile. Malgré certains retards dans la réception des matériaux, un modèle fonctionnel a pu être réalisé à l'aide de composants de substitution. Les différentes étapes comme modélisation CAO, conception et fabrication du circuit imprimé, collage du silicone et assemblage ont permis d'obtenir un système capable de générer un champ électrique et d'induire un déplacement de liquide, validant ainsi partiellement le principe électroosmotique.

Analyse du travail effectué

Le besoin initial était de développer une pompe miniature pour étudier le comportement électroosmotique dans le cadre d'un projet plus vaste de cellules végétales artificielles. Ce besoin a été partiellement satisfait, le prototype présentant un comportement globalement cohérent, malgré quelques limitations techniques. Par rapport au calendrier prévu, certaines étapes ont été retardées en raison de retards dans la livraison des dispositifs et des composants. Le collage du silicone nécessite plusieurs essais pour obtenir une bonne adhésion au circuit imprimé, ce qui représente un défi technique important. Les principales réussites du projet incluent la conception autonome du circuit imprimé, l'adaptation des méthodes d'assemblage aux contraintes matérielles et l'activation du champ électrique au sein du prototype. Les défis rencontrés concernaient principalement l'adhésion des matériaux, la gestion des bulles d'air dans le système et l'obtention de certaines couches, comme la découpe de l'adhésif et l'alignement parfait entre chaque couche.

Perspectives du projet

Pour les suites du projet, plusieurs pistes d'amélioration sont envisageables. Il serait pertinent de :

- Réaliser des mesures plus précises du déplacement de liquide afin de mieux quantifier l'efficacité de la pompe.
- Améliorer le processus de collage entre le silicone et le PCB, notamment en testant différents types de colle ou en modifiant la surface d'adhérence.
- Intégrer des moyens de visualisation plus précis (caméra, capteurs) pour observer le phénomène électroosmotique de manière plus rigoureuse.

À terme, le dispositif pourrait être miniaturisé et intégré dans la maquette de cellule végétale artificielle envisagée par le projet global.

- Améliorer le CAO en mettant une dimension plus précise que ce que j'ai fait

7. Partie III : Rapport PPP

Dans le cadre de mon rapport PPP, j'ai choisi d'interviewer M. Paul LACORRE, membre du personnel de l'ISM. Il occupe le poste de chercheur postdoctoral et a été l'un de mes encadrants directs durant mon stage. J'ai décidé de l'interroger car son parcours et ses missions m'ont particulièrement intéressé. Son rôle dans la recherche appliquée, ainsi que son expérience à la fois dans l'encadrement et l'enseignement, m'ont permis de mieux comprendre les réalités du métier de chercheur, ainsi que les compétences et les qualités requises pour évoluer dans ce domaine.

Quelles activités sont réalisées par la personne, quelles responsabilités prend-t-il en charge ?

La personne occupe le poste de chercheur postdoctoral, avec pour mission principale de conduire des recherches sur les matériaux cellulaires pressurisés. Ses responsabilités incluent l'avancement des travaux scientifiques, la veille technologique et bibliographique (lecture d'articles scientifiques, suivi des publications récentes), ainsi que l'encadrement de stagiaires. Il intervient également ponctuellement dans l'enseignement, à raison d'environ 30 heures par an.

Avec quelles personnes ou service est-il ou est-elle en interaction ?

Il travaille au sein de l'ISM, sur le site d'Aix, dans le département GMP. Il est en interaction régulière avec les autres chercheurs du laboratoire, mais aussi avec des collaborateurs extérieurs, notamment d'autres laboratoires en France. Ces échanges peuvent concerner des projets de recherche communs, des partages de résultats ou des discussions techniques autour des matériaux étudiés.

À quel endroit sont réalisées ses activités ?

La grande majorité de ses activités, environ 95 %, sont réalisées directement dans les locaux du département GMP de l'IUT d'Aix. Le reste du temps, soit environ 5 %, est consacré à des déplacements pour des conférences et des séminaires, en France comme à l'étranger, dans le cadre de la diffusion et de l'échange de résultats scientifiques.

À quel moment sont réalisées ses activités ? Depuis quand la personne occupe-t-elle cette fonction ?

Il exerce ses activités du lundi au vendredi, à raison d'environ 39 heures par semaine. Il a commencé à occuper ce poste le 1er octobre 2023, dans le cadre d'un contrat postdoctoral initialement prévu pour 18 mois, mais qui a été prolongé. Il exerce donc cette fonction depuis près de deux ans.

Comment sont réalisées ses activités ?

Pour mener à bien ses recherches, M. Paul LACORRE commence par lire régulièrement la littérature scientifique. Cette étape est essentielle pour se tenir informé des avancées dans son domaine, car la recherche nécessite une formation continue tout au long de la vie afin de mettre à jour ses connaissances.

Il utilise également la simulation numérique, un outil important qui lui permet de modéliser et d'étudier les comportements des matériaux. Cela passe par la programmation informatique et l'application de la méthode des éléments finis, une technique qui divise un problème complexe en petites parties pour en obtenir une solution précise.

Par ailleurs, il développe des modèles analytiques, basés sur des équations mathématiques. Ces modèles permettent de mieux comprendre les phénomènes physiques étudiés en établissant des relations théoriques entre les différentes variables.

En complément, il réalise une partie expérimentale importante de son travail. Il effectue des expériences en laboratoire, souvent sous forme de preuves de concept, pour valider et vérifier la pertinence des modèles analytiques et numériques qu'il développe.

Enfin, ses résultats sont publiés dans des journaux scientifiques, qui font l'objet d'un processus rigoureux de relecture par des pairs (comités de lecture) afin d'assurer la qualité et la validité des travaux avant leur publication.

Comment la personne s'est-elle formée à ce métier ?

M. Paul LACORRE s'est formé en France, où il a obtenu un baccalauréat scientifique en 2013. Il a ensuite suivi une année de classe préparatoire MPSI (Mathématiques, Physique et Sciences de l'Ingénieur). Par la suite, il a poursuivi ses études avec une licence en physique, avec un parcours orienté vers la mécanique, puis un master en mécanique numérique. Durant sa formation, il a effectué un stage de fin d'études au Japon, ce qui lui a permis d'acquérir une expérience internationale. Enfin, il a réalisé un doctorat en sciences de l'ingénieur, ce qui l'a pleinement préparé à son métier de chercheur.

Quelles sont les objectifs à atteindre ?

Ses objectifs sont de produire des résultats scientifiques qui apportent des connaissances nouvelles ou viennent préciser des notions encore mal maîtrisées dans son domaine de

recherche. Il vise également à publier ses travaux dans des revues spécialisées afin de partager ses découvertes avec la communauté scientifique. Enfin, il cherche à promouvoir la recherche publique, contribuant ainsi au développement et à la diffusion du savoir au sein de son institution et au-delà.

Quelles sont les motivations de la personne qui l'ont poussé à choisir ce métier ?

M. Paul LACORRE a choisi ce métier avant tout pour acquérir de nouvelles compétences et continuer à se former tout au long de sa carrière. Il est également motivé par le désir d'enseigner aux étudiants, transmettant ainsi son savoir et son expérience. Enfin, il apprécie particulièrement l'environnement de travail, où la priorité est donnée à la production de connaissances.

8. Conclusion Générale et Personnelle

Ce stage de huit semaines au sein du laboratoire ISM a été une expérience formatrice, enrichissante et pleinement en phase avec mes attentes. Intégré dans un projet de recherche plus vaste visant à reproduire le comportement de cellules végétales artificielles, mon travail consistait à développer une mini pompe électroosmotique servant de modèle expérimental. Ce projet m'a permis de m'immerger dans un environnement scientifique et d'explorer les étapes concrètes de la recherche appliquée.

Sur le plan technique, j'ai pu renforcer mes compétences en conception assistée par ordinateur et en fabrication. L'utilisation du logiciel Eagle pour la réalisation du circuit imprimé m'a permis de découvrir un nouvel logiciel, tandis que l'usinage de pièces en POM sur fraiseuse CNC, encadré par M. Guillaume WOLFF, m'a appris des techniques pratiques de positionnement et de serrage, essentielles à la précision des assemblages. J'ai également été confronté à des problématiques d'assemblage, de collage, de tests de prototypage, qui m'ont incité à faire preuve d'adaptabilité et de rigueur.

D'un point de vue personnel, ce stage m'a aidé à développer des compétences transversales telles que la gestion de projet, la communication en équipe et la prise d'initiative. Il m'a surtout appris à trouver des solutions techniques face aux imprévus, ce qui a renforcé mon autonomie et ma capacité de réflexion. Travailler dans un cadre de recherche a éveillé un réel intérêt pour ce type d'environnement, que je considère aujourd'hui comme une orientation professionnelle potentielle.

En somme, ce stage a été une étape importante dans mon parcours en génie mécanique. Il m'a permis de mettre en pratique les connaissances acquises au cours de ma formation à l'IUT, d'explorer un domaine à la frontière entre mécanique et recherche scientifique, et

d'acquérir des compétences durables, tant techniques que humaines, que je compte valoriser dans la suite de mon cursus.

9. Bibliographie et Webographie

Présentation de l'ISM : <https://ism.univ-amu.fr/fr/presentation>

Présentation de l'équipe SBI : <https://ism.univ-amu.fr/fr/equipes/equipe-sbi>

Présentation de ANR Mexp : <https://anr.fr/Projet-ANR-22-CE51-0012>

Article de reference, **Flat Panel Haptics: Embedded Electroosmotic Pumps for Scalable Shape Displays** : <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3544548.3581547>

10. Glossaires

GMP : Génie Mécanique et Productique

CNRS : Centre National de la Recherche Scientifique

UMR : Unité Mixte de Recherche

SBI : Systèmes Bio Inspirés

ANR MEXP : Agence nationale de la recherche Machina Ex Pulvino, la machine issue du pulvinus

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

FAO : Fabrication Assistée par Ordinateur

IUT : Institut Universitaire de Technologie

EOF : Electroosmotic Flow/Écoulement Electroosmotique

EDL : Electrical double layer/Double couche électrique

PCB : Printed Circuit Board/Circuit imprimé

PET : Polyéthylène téréphtalate

GFF : Borosilicate Glass Fiber Filter

PC : Propylène Carbonate

POM : Polyoxyméthylène

CNC : Machine-outil à commande numérique

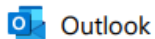
EEOP : Embedded electroosmotic pump, les couches entre la sortie et le réservoir appelées « Pump »

11. Annexes

Annexe 1 : Mails envoyés pour demander des devis

6/18/25, 9:22 AM

Email - BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmai - Outlook



Demander un devis

From BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmai <muhammad-nur-sharmai.BIN-SUHERRTO@etu.univ-amu.fr>

Date Tue 06/05/2025 22:33

To FRCustomerrelations@merckgroup.com <FRCustomerrelations@merckgroup.com>

Bonjour,

Je suis stagiaire à l'IUT d'Aix-Marseille, et je souhaiterais demander un devis sur le produit suivant :

Carbonate de Propylène

P52652-1L

Quantité : 1

L'adresse de facturation :

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, Agence comptable, 3 Place Victor Hugo, 13003 Marseille CEDEX,FR

L'adresse de livraison :

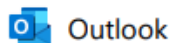
413 Avenues Gaston Berger, 13100 Aix-en-Provence, GMP.

Au nom de Loïc TADRIST.

Merci.

6/18/25, 9:25 AM

Email - BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmai - Outlook



Demande de devis

From BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmai <muhammad-nur-sharmai.BIN-SUHERRTO@etu.univ-amu.fr>

Date Wed 07/05/2025 08:06

To Virginie.meseguer@thermofisher.com <Virginie.meseguer@thermofisher.com>

Bonjour,

Je suis stagiaire à l'IUT d'Aix-Marseille, et je souhaiterais demander un devis sur le produit suivant :

Cytiva Filtres ronds GF/F en microfibre de verre sans liant Whatman™

[11310384](#)

Quantité : 1 lot de 100 pieces

L'adresse de facturation :

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, Agence comptable, 3 Place Victor Hugo, 13003 Marseille CEDEX,FR

L'adresse de livraison :

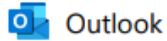
413 Avenues Gaston Berger, 13100 Aix-en-Provence, GMP.

Au nom de Loïc TADRIST.

Merci.

6/18/25, 9:23 AM

Email - BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmai - Outlook



Demande d'un devis

From BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmai <muhammad-nur-sharmai.BIN-SUHERRTO@etu.univ-amu.fr>
Date Thu 01/05/2025 21:04
To france.support@digkey.com <france.support@digkey.com>

Bonjour,

Je suis stagiaire à l'IUT D'AIX MARSEILLE à Aix en Provence, et je souhaite demander un devis sur l'article suivant : 3M159368-ND

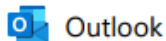
Quantité : 1

L'adresse de livraison :
413 Avenue Gaston Berger, 13100 Aix-en-Provence, GMP.
Au nom de Loïc TADRIST.

L'adresse de facturation :
AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, Agence comptable, 3 Place Victor Hugo, 13003 Marseille CEDEX,FR

6/18/25, 9:23 AM

Email - BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmal - Outlook



Demande de devis

From BIN SUHERRTO Muhammad nur sharmal <muhammad-nur-sharmal.BIN-SUHERRTO@etu.univ-amu.fr>

Date Wed 07/05/2025 14:52

To services.clients@rsgroup.com <services.clients@rsgroup.com>

Bonjour,

Je suis stagiaire à l'IUT D'AIX MARSEILLE à Aix en Provence, et je souhaite demander un devis sur

l'article suivant :

Film plastique, 304mm x 200mm x 0.1mm

Code commande RS:

785-0792

Quantité : 1 lot de 5

L'adresse de livraison :

413 Avenue Gaston Berger, 13100 Aix-en-Provence, GMP.


Au nom de Loïc TADRIST.

L'adresse de facturation :

AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, Agence comptable, 3 Place Victor Hugo, 13003 Marseille CEDEX,FR

Merci.

Annexe 2 : Devis reçu



701 Brooks Ave South,
PO Box 677
Thief River Falls, MN 56701-0677
USA

www.digikey.fr
Global Customer Support
(+33) 4 43 83 80 90

Numéro de devis: 17590066

EUR €

Client: MUHAMMAD NUR SHARMAINE
IUT D'AIX-MARSEILLE
413 AVENUES GASTON BERGER, GMP,
AIX-EN-PROVENCE 13100
FRANCE

Référence client: Unnamed List
Client: 17145681
Date d'entrée: 01-May-2025
Date du document: 01-May-2025
Indiquez le numéro de devis lorsque vous passez une commande.




| Idx | Numéro de l'article / Description | Quantité | Commande minimum | Quantité par paquet | Prix unitaire EUR € | Prix calculé EUR € |
|-----|---|----------|------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 1 | PART: 3M159368-ND CUST: scotch MFG: 3M / 467MP-2"X60YD COO: United States Of America Pricing Valid Through: 31-May-2025 Pack Type: BULK Current Stock Status: IN STOCK Standard MFG Lead Time: EST WKS 4 | | | 24 | 53.65000 | 53.65 |

Merci de votre demande de devis. Toutes les transactions avec DigiKey, y compris ses filiales, sont soumises aux [Termes d'utilisation et conditions de commande](#) de DigiKey.

Les dates de livraison confirmées peuvent être obtenues après la commande.

Pour un guide rapide sur la terminologie et les abréviations utilisées dans les devis Digi-Key, reportez-vous à : <https://www.digikey.fr/fr/help-support/place-an-order/how-to-read-a-digi-key-quote>

Confidentiel Digi-Key : ne pas distribuer ni faire suivre.

Abréviations: VA = Valeur ajoutée DISC = Fin de série CONV = Conversion NSTK = Non stocké ARO = Après réception de la commande
DEL = Livraison EST WKS = Semaines estimées
Le prix n'inclut pas les frais de transport.

Page 1 sur 1



Devis 2217213306.0

07/05/2025

Validité 23/06/2025

Fisher Scientific S.A.S.
Parc d'innovation
Bd Sébastien Brant
67403 Illkirch
FRANCE

IUT DE CHIMIE
413 Avenues Gaston Berger
Muhammad Nur Sharmai
13100 Aix-en-Provence
13013 MARSEILLE
FRANCE

N° +33 (0)388671414

Web: www.fishersci.fr

Votre demande

N° de client 3461910

Pour nous contacter:

Service Technique Service Client

Téléphone +33(0)388671414

Email fr.quotations@thermofisher.com

Nous vous remercions pour votre consultation

| Article | Descriptif | Quantité | Unité | Prix HT | Remise | Prix total net |
|--|--|----------|-------|---------|--------|----------------------|
| ***** Pour recevoir le prix de votre devis, demandez-le en ligne en vous connectant et en visitant votre tableau de bord des devis . ***** | | | | | | |
| 11310384 | X100 DISQUE GRADE GF/F 2,1CM | 1 | EA | 90,30 | 10,00% | 81,27 % TVA 20,00 |
| | Marque Whatman products Cytiva 1825-021 | | | | | |
| | L'adresse de facturation : AIX-MARSEILLE UNIVERSITÉ, Agence comptable, 3 Place Victor Hugo, 13003 Marseille CEDEX,FR | | | | | |
| | Chemicals Handling Fee | | | | | 28,00 % TVA 20,00 |
| | Forfait expédition | | | | | 42,00 % TVA 20,00 |

4. De plus, les produits affectés par les augmentations de coûts découlant des politiques de l'administration actuelle des États-Unis, incluant les droits de douane supplémentaires, les taxes, les frais d'importation ou autres dépenses connexes, feront l'objet d'un examen minutieux et pourront être exclus de tout engagement contractuel en cours. Sauf instruction contraire de la part de Fisher Scientific S.A.S., cette communication sera également considérée comme une acceptation de ces



Profitez d'une expédition le jour même
des produits les plus populaires

Page
1/2

Fisher Scientific SAS
Part of Thermo Fisher Scientific

Bd Sébastien Brant
Parc d'Innovation
BP 50111
F-67403 ILLKIRCH Cedex

Tél: + 33 (0)3 88 67 14 14
fr.fisher@thermofisher.com
www.fr.fishersci.com

SAS au capital de EUR 104 044 489
Siret 398 827 337 00021 RCS Strasbourg
n° TVA FR21 398 827 337
IBAN : FR76 3000 4024 7100 0104 4802 466
BIC/SWIFT : BNPAFRPPXXX

Les conditions générales de vente de Fisher Scientific sont les seules applicables, sauf accord préalable contraire par écrit.
Elles sont disponibles sur www.eu.fishersci.com/go/terms ou sur simple demande à notre service relation clients.



Devis 2217213306.0

07/05/2025

Validité 23/06/2025

Fisher Scientific S.A.S.
Parc d'innovation
Bd Sébastien Brant
67403 Illkirch
FRANCE

IUT DE CHIMIE
413 Avenues Gaston Berger
Muhammad Nur Sharmai
13100 Aix-en-Provence
13013 MARSEILLE
FRANCE

N° +33 (0)388671414

Web: www.fishersci.fr

Votre demande

N° de client 3461910

Pour nous contacter:

Service Technique Service Client

Téléphone +33(0)388671414

Email fr.quotations@thermofisher.com

Nous vous remercions pour votre consultation

| Article | Descriptif | Quantité | Unité | Prix HT | Remise | Prix total net |
|-------------|------------|----------|-------|---------|--------|----------------|
| conditions. | | | | | | |

| | | | | | |
|-------------------|---------------|-------|-------|----------------------------|--------|
| | Net | % TVA | TVA | Devise EUR | |
| TVA | 151,27 | 20,00 | 30,25 | Total net remises déduites | 81,27 |
| | | | | Charges | 70,00 |
| | | | | Total Net HT | 151,27 |
| | | | | TVA | 30,25 |
| Cond de livraison | DDP | | | Montant Total TTC | 181,52 |
| Type de transport | Route | | | | |
| Cond de paiement | 45 jours nets | | | | |



Profitez d'une expédition le jour même
des produits les plus populaires

Page
2/2

Fisher Scientific SAS
Part of Thermo Fisher Scientific

Bd Sébastien Brant
Parc d'Innovation
BP 50111
F-67403 ILLKIRCH Cedex

Tél: + 33 (0)3 88 67 14 14
fr.fisher@thermofisher.com
www.fr.fishersci.com

SAS au capital de EUR 104 044 489
Siret 398 827 337 00021 RCS Strasbourg
n° TVA FR21 398 827 337
IBAN : FR76 3000 4024 7100 0104 4802 466
BIC/SWIFT : BNPAFRPPXXX

Les conditions générales de vente de Fisher Scientific sont les seules applicables, sauf accord préalable contraire par écrit.
Elles sont disponibles sur www.eu.fishersci.com/go/terms ou sur simple demande à notre service relation clients.



**Sigma-Aldrich Chimie
S.a.r.l.**

L'Isle d'Abeau Chesnes
38297 Saint-Quentin Fallavier

www.sigmaaldrich.com
Téléphone: 0 800 21 14 08

N° de SIRET: Siret B340 275 924
00017/Vienne 38 NAF/APE 4675Z
Numéro de TVA: FR75 340 275 924
Nom de la banque: BNP
IBAN : FR76 30004022490001116450384
BIC : BNPAFRPPLPD

Réf. à rappeler R-10760330.1
St Quentin Fallavier
7/5/2025
Date d'expiration: 6/6/2025

Université d'Aix Marseille
M. Muhammad Nur Sharmaine Bin
Suherrto
413 Avenues Gaston Berger, GMP, Au
nom de Loïc TADRIST
13100 AIX-EN-PROVENCE
FRANCE
+33745081300

Sold To Customer No:0010515050

Monsieur Muhammad Nur Sharmaine Bin Suherrto

Nous vous remercions de l'intérêt que vous portez à nos produits et à nos services. Pour faire suite à votre demande, nous avons le plaisir de vous faire parvenir, ci-joint, notre proposition de prix.

Veuillez rappeler le n° de notre devis sur votre bon de commande. En l'absence de ce numéro, le tarif public en vigueur sera appliqué.

Pour une commande, un prix, une disponibilité ou un suivi de commande sur nos produits veuillez contacter le Service Clientèle par téléphone au 0800 21 14 08 (choix 1), ou par email à FRcustomerrelations@merckgroup.com

Pour vos questions d'ordre technique ou liées à nos produits, veuillez contacter notre Support Technique au 01 85 16 94 34 ou par email à Servicetechnique@merckgroup.com

Pour toute question complémentaire, n'hésitez pas à me contacter.

Cordialement, Dominique Rimasson

Dominique Rimasson
dominique.rimasson@merckgroup.com



Réf. à rappeler R-10760330.1
St Quentin Fallavier
7/5/2025
Date d'expiration: 6/6/2025

Université d'Aix Marseille
M. Muhammad Nur Sharmaine Bin
Suherto
413 Avenues Gaston Berger, GMP, Au
nom de Loïc TADRIST
13100 AIX-EN-PROVENCE
FRANCE
+33745081300

Offre de Prix

| Référence | Description | Qté | P.U.H.T. Net (EUR/€) | Total Net H.T. (EUR/€) |
|--|---------------------------------------|-----|-------------------------|---------------------------|
| 1. P52652-1L | PROPYLENE CARBONATE, REAGENTPLUS, 99% | 1 | 58,00 | 58,00 |
| Date de disponibilité 7/5/2025 - Qté 1 | | | | |

| Référence | Description | Qté | P.U.H.T. Net (EUR/€) | Total Net H.T. (EUR/€) |
|---------------------------|-----------------------------------|-----|-------------------------|---------------------------|
| 2. P2FREIGHT | Frais (voir conditions de ventes) | 1 | 63,00 | 63,00 |
| Montant Total HT (EUR/€) | | | | 121,00 |
| T.V.A. (20.00%)(EUR/€) | | | | 24,20 |
| Montant Total TTC (EUR/€) | | | | 145,20 |

IMPORTANT:

Veuillez rappeler le n° de notre devis (R-10760330.1) sur votre bon de commande. En l'absence de ce numéro de devis sur votre bon de commande, le tarif public en vigueur sera appliqué.

Attention :

Merci de bien vouloir adresser vos commandes avec la bonne entité selon l'adresse fournisseur indiquée ci-dessous :

Adresse Fournisseur : Sigma-Aldrich Chimie S.A.R.L. - B.P. 701 38297 Saint Quentin Fallavier

Nos prix s'entendent hors taxe et sont disponibles sur notre site internet www.sigma-aldrich.com

Délai de livraison : à confirmer lors du passage de votre commande



Réf. à rappeler R-10760330.1

St Quentin Fallavier

7/5/2025

Date d'expiration: 6/6/2025

Université d'Aix Marseille

M. Muhammad Nur Sharmaine Bin

Suherro

413 Avenues Gaston Berger, GMP, Au

nom de Loïc TADRIST

13100 AIX-EN-PROVENCE

FRANCE

+33745081300

Conditions de vente: Les prix s'entendent hors TVA.

Des frais de transport standard peuvent s'appliquer. Ils sont susceptibles d'être modifiés.

Les frais de transport sont déterminés lors de l'enregistrement de la commande.

Les frais suivants seront appliqués (sauf contrat spécifique):

Frais de transport: 25 EUR

Frais de traitement de la commande: 38 EUR (offerts pour toute commande passée sur notre site internet ou pour toute commande d'une valeur supérieure à 1000€)

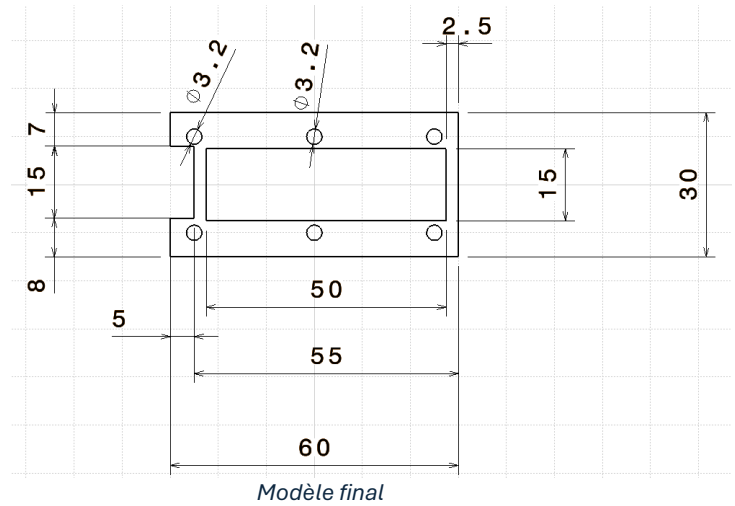
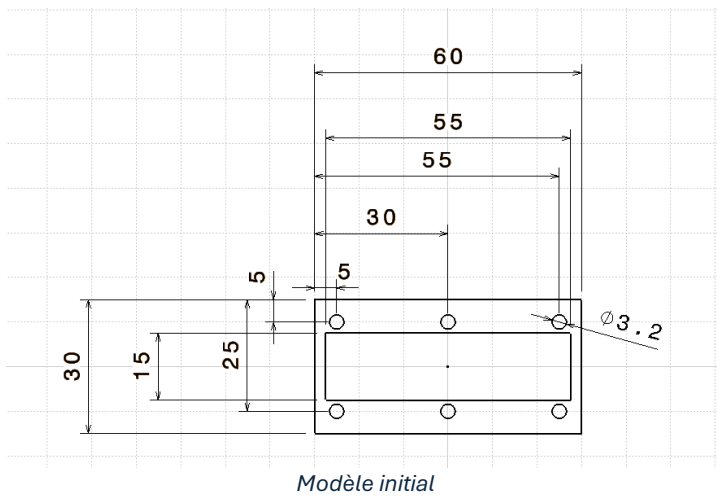
Frais de transport réfrigéré: 55 EUR

Cette offre de prix est valable pour les références et quantités indiquées sur le devis. Si vous souhaitez commander d'autres références et/ou quantités, merci de bien vouloir nous contacter.

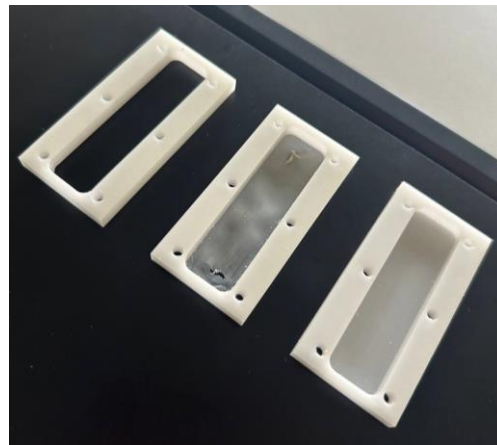
Les envois express seront facturés en fonction du poids et de la destination finale. Pour plus d'informations, veuillez contacter notre service clientèle.

« Vous n'êtes pas autorisé à réexporter vers la Russie ou à réexporter en vue d'une utilisation en Russie des biens ou des technologies énumérés aux annexes XI, XX, XXXV et des biens communs hautement prioritaires énumérés à l'annexe XL du RÈGLEMENT (UE) n° 833/2014 DU CONSEIL du 31 juillet 2014 concernant des mesures restrictives en raison des actions de la Russie déstabilisant la situation en Ukraine, tel que modifié de temps à autre. Si vous réexportez les marchandises livrées vers la Russie ou en vue de leur utilisation dans ce pays, nous informerons les autorités compétentes de l'infraction en question. Vous devez veiller à ce que ces restrictions à la réexportation ne soient pas transgressées par des tiers dans votre chaîne commerciale, y compris d'éventuels revendeurs, et devez donc mettre en place et maintenir un mécanisme de contrôle adéquat pour détecter tout manquement de la part de l'un de ces tiers et, dans ce cas, nous en informer dans les plus brefs délais. Toute violation des restrictions à la réexportation énoncées dans les présentes nous expose à une pénalité de 15 % de la valeur totale de l'accord de vente respectif ou du prix des marchandises exportées, le montant le plus élevé étant applicable. »

Annexe 3 : Plan du POM



Annexe 4 : POM usiné par Fraiseuse CNC



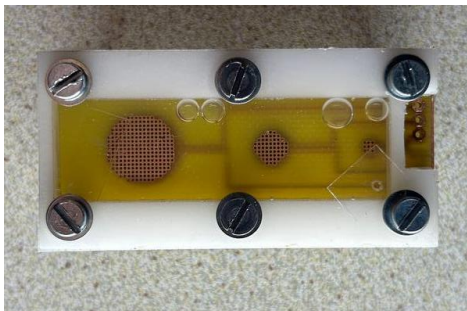
Annexe 5 : Moule du silicone



Annexe 6 : Le brut de POM



Annexe 7 : Assemblage final de la mini pompe



Nom et Prénom du stagiaire : BIN SUHERRTO Muhammad Nur Sharmaine

Stage BUT : Génie Mécanique et Productique

Nom entreprise : AIX-MARSEILLE UNIVERSITE

Lieu du stage (Ville) : Aix-en-Provence

Tuteur industriel : Loïc TADRIST

Fonction : Professeur à l'IUT

Tuteur universitaire : Rémy MAZOYER

Résumé du projet de stage : Stage réalisé à l'ISM dans l'équipe SBI, visant à reconstituer et tester une mini pompe électroosmotique. Après étude bibliographique, un prototype a été assemblé et expérimenté. Les résultats ont montré une déformation liée à l'écoulement, validant partiellement le principe. Ce stage m'a permis d'approfondir mes compétences en expérimentation et en analyse scientifique.

Les mots clés : Pompe électroosmotique, Transport de fluide, Électrodes, Déformation

Logiciels utilisés : UltimakerCura, SinuTrain, BeamStudio, CATIA V5, 3DEXPERIENCE, Excel, Word, Eagle

Nombre de page du rapport : 37

Nombre de page des annexes : 12
